תוכן העניינים

עמוד

עמוד



פרק 1: יחידות מדידה במדע ובטכנולוגיה

1.1 מבוא

כל דבר שניתן למדוד בפיזיקה נקרא גורם פיזיקאלי. המאפיינים של כל גורם פיזיקאלי הם: שם, סימן (אות), גודל (מספר) ויחידת מדידה. למשל, הגורם הפיזיקאלי המתאר את המרחק שאנו עוברים בתנועה, שמו הוא דרך, וסימנו - S. לכל דרך יש מספר מסוים של יחידות מרחק ויחידה מדידה שהיא מטר אחד או קילומטר אחד. בתחומים שונים משתמשים בקבוצות שונות של יחידות מדידה – מערכות יחידות. מערכת שימושית ביותר היא מערכת בינלאומית - SI . בכל מערכת יחידות רק כמה מהיחידות הן יחידות בסיסיות. במערכת SI היחידות הבסיסיות הן היחידות של המרחק, המסה, הזמן, כמות החומר, עוצמת הזרם, הטמפרטורה ועוצמת האור.

1.2 מרחק

הסימן של מרחק - L . כדי לציין הבדל בין מרחקים, השונים זה מזה, בספרות מדעית ובספרים של טכנולוגיה מסמנים מרחקים גם באותיות אחרות, כמו d, s, r ,D, h., למשל, לקוטר סימן- D, לרדיוס סימן – r, לדרך סימן - s. כל הסימנים האלה שייכים למשפחת המרחק, כלומר, מותר לסמן את כולם גם ב- L.

יחידה בסיסית של מרחק במערכת SI - היא מטר אחד. 1מ'= 1m.

יחידה קטנה ממנה היא 1ס"מ = 1cm . 1מ' = 100ס"מ.

יחידה גדולה 1ק"מ = 1,000מ'.

בארצות הברית ובמדינות אחרות משתמשים גם ביחידות מרחק אחרות כמו:

1אינץ' (אצבע)= 2.54ס"מ, 1 פוט (רגל) = 12אינץ' = 30.48ס"מ.

היחידה גדולה פי 3 מהפוט היא ירד (יד) 1ירד = 3פוט = 91.44ס"מ.

1.3 היקף

היקף הוא אורך (מרחק) של קו הגבול. בצורות הנדסיות פשוטות ההיקף הוא האורך של סכום הצלעות שלהן. במעגל ההיקף הוא אורך קו המעגל. כדי לחשב היקף המעגל משתמשים בנוסחה הבאה:

$$L = \pi \times D \qquad \text{או} \qquad L = \pi \times 2R$$

כי הקוטר שווה לשני רדיוסים $2R = D$

D - קוטר המעגל

L - היקף המעגל

מקובל לסמן את היחס בין היקף העיגול לבין קוטרו באות יוונית - π . ממדידות מדויקות וגם משיקולים מתמטיים ידוע ,כי $\pi = 3.14$ בקירוב. כדי לקבל מספר " π " על מסך מחשבון מקלידים "SHIFT" ואחרך כך "EXP".

1.4 חישוב שטחים

שטח הוא מאפיין כמותי של חלק המישור. ממדיו השטח הם אורך ורוחב. שטח של צורות שונות מקובל לסמן באות S או A. נתבונן במלבן, צורה פשוטה שיש לה אורך, שסימנו – a, ורוחב, שסימנו - b. את **שטח המלבן** אנו מחשבים בעזרת תבנית המספר (נוסחה) $S = a \times b$.



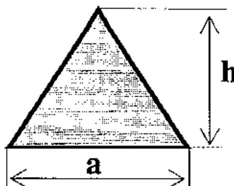
a- אורך המלבן
b - רוחב המלבן

יחידות המדידה של שטח: 1מ"ר $= 1m^2$, 1סמ"ר$= 1cm^2$, 1ממ"ר $= 1mm^2$.
1מ"ר = 10,000סמ"ר, 1סמ"ר = 100ממ"ר
יחידות מדידת שטח שונות הן: 1אינץ' ^{2} = 6.4516סמ"ר,
1פוט^2 = 929.03 סמ"ר, 1יירד^2 = 8361.3סמ"ר = 0.8361מ"ר.

שטחים של צורות משולבות (ריבוע, משולש, עיגול)

א. שטח של **ריבוע** מחשבים בעזרת הנוסחה: $S = a^2$,
כי ריבוע הוא מלבן שבו כל הצלעות שוות, כלומר, $a = b$.

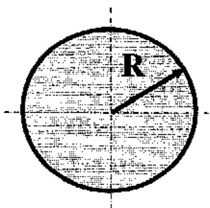
ב. שטח של **משולש** מחשבים בעזרת נוסחה:



a – אורך בסיס המשולש
h - גובה המשולש
S - שטח המשולש

$$S = 0.5a \times h$$

ג. שטח של **עיגול** מחשבים בעזרת הנוסחה: $S = \pi \times R^2$



R - רדיוס העיגול
π - מספר קבוע ≈ 3.14
ניתן גם לחשב את שטח העיגול בעזרת הנוסחה הבאה:

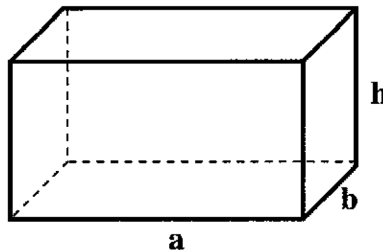
D - קוטר העיגול

$$S = 0.25\pi \times D^2$$

1.5 נפחים

נפח הוא מאפיין כמותי של המקום במרחב שגוף כלשהו תופס. בדרך כלל נפח מסמנים באות V.במקרה פשוט של מקבילון (תיבה) מחשבים את נפחו בעזרת הנוסחה:

$$V = a \times b \times h$$



a - אורך הבסיס של המקבילון
b - רוחב הבסיס של המקבילון
h - גובה המקבילון

במערכת SI יחידת הנפח מטר מעוקב וקיצורו מ"ק. 1מ"ק = $1m^3$. יחידה קטנה 1דצימטר מעוקב או 1ליטר. 1מ"ק = 1,000ליטר. יחידה קטנה מהליטר פי 1,000 היא 1 מיליליטר או 1סנטימטר מעוקב וקיצורו 1סמ"ק.

1ליטר = 1,000סמ"ק או 1,000מיליליטר.

$$1m^3 = 1{,}000liter = 1{,}000{,}000\ cm^3$$

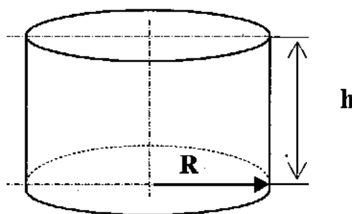
נוסחה אחרת לחישוב נפח של מקבילון היא: $V = S \times h$

S - שטח הבסיס של המקבילון
h - גובה המקבילון

בשפה יום יומית במקום במלה מקבילון משתמשים גם במילים כמו: לוח ,תיבה, ארגז, או קופסה, שצורתם הוא מקבילון.

בצורה דומה אנו יכולים לחשב נפח של גליל או צילינדר:

S - שטח הבסיס של הגליל
h - גובה הגליל

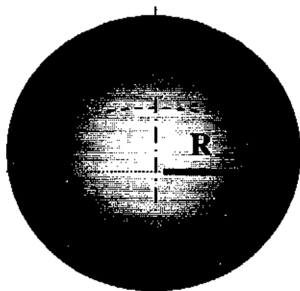


$$V = S \times h$$

נפח של גופים קטנים יחסית, שיש להם צורה שרירותית, אנו יכולים למדוד בעזרת כלי שנקרא משורה. המשורה היא כלי עשוי זכוכית או פלסטיק שקוף עם שנתות. כל שנת מסמנת נפח מוגדר. ממלאים את המשורה במים, רושמים מהו נפחם V_1. מכניסים במים את הגוף, שאת הנפח שלו רוצים למדוד, ומפלס המים במשורה עולה. כעת נפח המים והגוף הוא V_2 . נפח הגוף שווה:

$$V = V_2 - V_1$$

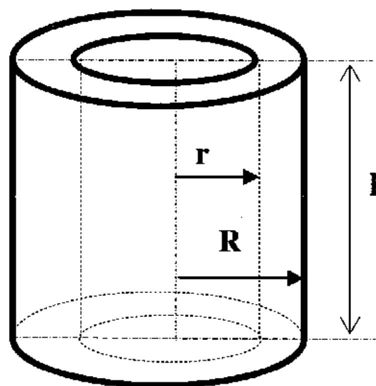
נפח כדור ניתן לחשב בעזרת נוסחה הבאה:



$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

R – רדיוס הכדור.

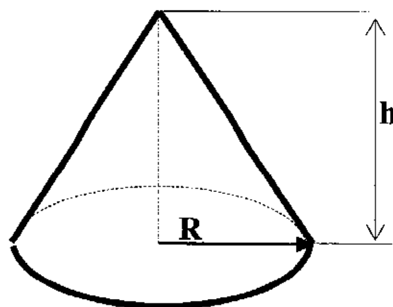
כדי לחשב את נפח דפנותיו של צינור משתמשים בנוסחה הבאה:



$$V = \pi \left(R^2 - r^2 \right) h$$

V - נפח דפנות הצינור
R - רדיוס חיצוני
r - רדיוס פנימי
h – אורך הצינור

במקרים רבים לערימות חול, חצץ וכד' צורת חרוט (קונוס). נפח חרוט מחשבים בעזרה הנוסחה:



$$V = \frac{1}{3}\pi h R^2$$

V - נפח החרוט
R – רדיוס הבסיס
h - גובה החרוט

מעבר בין יחידות דורש ידע על הקשר ביניהן. קל מאוד לקבל אותו בעזרת תבנית שיש לה מבנה זהה לכל מעבר.

דוגמא 1: כמה ס"מ ב - 5אינץ'?
רושמים את הביטוי הנתון לשינוי. במקרה שלנו 5אינץ'.
מעתיקים את המספר של היחידות הקודמות. במקרה שלנו הוא 5.
שמים בתוך המסגרת את גודל היחידה הקודמת ביחידה הדרושה. במקרה שלנו 1אינץ' =2.54ס"מ.
כופלים את המספרים. $5 \times 2.54 = 12.7$
5אינץ' = 5 × 2.54ס"מ = 12.7ס"מ.

1.6 בעיות

בעיות המרה

1. כמה אינץ' הם 6 פוט? 1פוט = 12אינץ'. (6 פוט=72 אינץ')

2. בארה"ב מודדים את נפח הדלק בגלונים. 1גלון אמריקני = 3.785ליטר. בתחנת הדלק באמריקה קנית 20גלון בנזין. כמה ליטר בנזין קנית? (20 גלון=75.7ליטר).

3. בארה"ב מודדים מסת גוף ביחידות פאונד. 1פאונד = 0.4536ק"ג. קנית בחנות באמריקה 5פאונד סוכר. כמה ק"ג סוכר קנית? (5פאונד =2.268ק"ג)

4. רשום את המסה שלך בק"ג ובטא אותה בפאונד. 1ק"ג = 2.205פאונד.

בעיות הנדסה

1. רדיוס מעגל 30cm. מהו קוטרו? מהו היקפו? (L=188.50cm, d=60cm)

2. היקף מעגל 4m. מהו קוטרו? (d=1.27m)

3. .אורך מלבן 45cm ס"מ, ורוחבו 0.2m. מהו שטחו? ($S=0.09m^2$)

4. שטח רבוע $49cm^2$. מהו היקפו? (L=28cm,)

5. רדיוס עיגול 5m. מהו שטחו? ($S=78.54m^2$)

6. שטח עיגול $49cm^2$. מהו קוטרו? (d= 7.90cm)

7. אורך מקבילון (תיבה או לוח) 250mm, רוחבו 4cm וגובהו 0.002m. מהו נפחו? ($V=20cm^3$)

8. נפח קובייה $512cm^3$. מהו אורך הצלע של הקביה? מהו שטח בסיסה? ($a=8cm$, $S=64cm^2$)

9. גובה גליל (צילינדר) 20cm, וקוטר בסיסו 40mm. מהו נפחו? ($V=251.33cm^3$)

10. רדיוס של כדור 3m. מהו נפחו? ($V=113.10m^3$)

11. נפח כדור $600cm^3$. מהו קוטרו? ($d=10.46cm$)

12. מהו נפח דפנותיו של צינור שאורכו 200m, הרדיוס החיצוני של הצינור 30cm, ורדיוסו הפנימי 25cm? ($V=17.28m^3$)

פרק 2: גורמים פיסיקאליים, וקטורים וסקלרים

2.1 מבוא

מכניקה היא אחד מהפרקים של הפיסיקה, המטפל בתנועה, בגופים שונים ובתנאי יציבותם. מכניקה היא הבסיס לתכנון ולבנייה של כל המבנים, המכונות או המכשירים. כל תפקוד הטכניקה והטכנולוגיה של האנושות מתקיים על בסיס חוקי המכניקה.
מאפיינים כמותיים של גופים, או תהליכים, שניתן לבטא באמצעות מספר, נקראים גורמים פיסיקאליים. כל הגורמים הפיסיקאליים הם תוצאה של מדידות, או של מדידות וחישובים. גורם פיסיקאלי נהוג לסמן באמצעות אות. בדרך כלל האות היא האות הראשונה של שם הגורם הפיסיקאלי באנגלית. תוצאות כמותיות של מדידות וחישובים אנו חייבים לבטא בעזרת מספר וברוב המקרים גם בעזרת יחידת המדידה, כלומר, לכל גורם פיסיקאלי ישנם לפחות שלושה מאפיינים:

א. סימן – אות
ב. ערך מספרי
ג. יחידת מדידה

בחירה של יחידת המדידה משפיעה על הערך המספרי של הגורם הפיסיקאלי. למשל, מרחק שגוף עבר במטרים שונה מאותו המרחק בירדים או בסנטימטרים. אחת מהמערכות היחידות המדידה הנפוצות בפיסיקה היא המערכת הבינלאומית - SI.
מערכת היחידות הבסיסיות של המכניקה הן יחידות של שלושה גורמים פיסיקאליים: מרחק, זמן ומסה. כל שאר היחידות הן יחידות נגזרות, שניתן לבטא באמצעות היחידות הבסיסיות. סימון אחר של מערכת היחידות - SI - M.K.S שהם ראשי-תיבות מילים באנגלית: מטר, קילוגרם, שנייה.

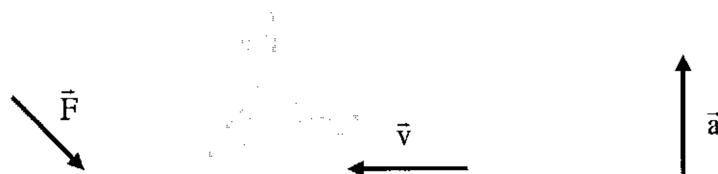
2.2 וקטורים וסקלרים

גורמים פיסיקאליים במכניקה מתחלקים לשתי קבוצות. לקבוצה הראשונה שייכים גורמים פיסיקאליים, שידע מקיף עליהם מתבטא בשני מאפיינים - ערך מספרי ויחידת המדידה.

גורמים פיסיקאליים מסוג זה נקראים סקלרים. למשל: זמן, מרחק ומסה - שלושתם שייכים לקבוצת הסקלרים.
כפי שאמור למעלה, סקלרים הם גורמים פיסיקאליים הנקבעים על ידי שני מאפיינים בלבד: גודל, או ערך מספרי ויחידת מדידה. (ישנם גורמים פיסיקאליים בעלי מאפיין אחד בלבד - ערך מספרי, למשל מקדמי החיכוך). לחלק מהגורמים הפיסיקאליים, מלבד הערך המספרי ויחידת המדידה נדרש מאפיין נוסף - ידע על כיוון במרחב. למשל, למציאת מיקומו הסופי של גוף, הנע במהירות קבועה, חייבים לדעת, בנוסף לערך המספרי של מהירות התנועה ויחידתה, גם מהו כיוון מהירות התנועה. לדוגמה נוספת, תוצאת הפעלת כוח על גוף תלויה בכיוון הכוח המופעל. לעתים כיוון של גורם פיסיקאלי חשוב לא פחות מהערך המספרי שלו, או מיחידת המדידה.

גורמים פיסיקאליים בעלי כיוון במרחב נקראים וקטורים.

וקטורים הם גורמים פיסיקאליים הנקבעים על ידי שלושה מאפיינים: ערך מספרי, יחידת המדידה וכיוון במרחב. כדי לציין שגורם פיסיקאלי שייך לקבוצת הווקטורים, מוסיפים חץ קטן מעל האות המסמנת את הגורם הפיסיקלי. כיוון החץ מעל הסימן הוא תמיד ימינה ללא תלות בכיוון של הווקטור עצמו. מקובל גם להדפיס סמלים של וקטורים באותיות עבות.
בתרשימים מקובל לצייר וקטור באמצעות חץ שכיוונו מראה את כיוון הווקטור (איור מס' 1). אורך החץ הוא על פי קנה מידה מסוים, ומייצג את הערך המספרי של הווקטור.



איור מס' 1: דוגמאות לווקטורים שונים

כאמור, נוהגים לסמן ווקטורים גם על- ידי אות עבה **a**, $\vec{a}$ = **a** .

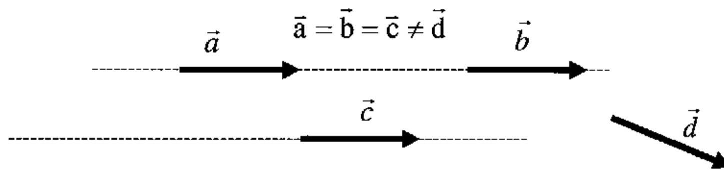
הערך המספרי של וקטור הוא סקלר. את הערך המספרי של וקטור, או הערך המוחלט שלו (בלועזית מודול), מסמנים בשתי דרכים אפשריות: רושמים שני קווים אנכיים ומקבילים, או פשוט משמטים את הסימן של הווקטור V ואת החץ מעל האות.

$|\vec{v}| = V \qquad |\mathbf{V}| = V$

2.3 פעולות עם וקטורים

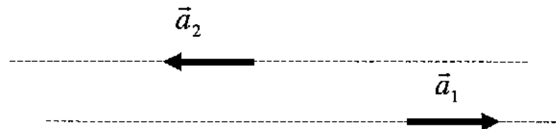
<u>השוואה בין וקטורים</u> - שני וקטורים, המייצגים אותו גורם פיסיקאלי, שווים זה לזה, כאשר לשניהם אותו כיוון במרחב ואותם ערכים מספריים. במלים אחרות, שני וקטורים שווים זה לזה, אם המודולים שלהם זהים, והם נמצאים על אותו קו, או על שני קווים מקבילים האחד לשני .

תכונה זו מאפשרת לנו להעתיק וקטור מנקודה לנקודה במקביל לכיוון הווקטור המקורי.
קו, שחץ הווקטור הוא קטע ממנו, נקרא קו פעולת הווקטור.
באיור מס' 2 מצוירים ארבעה וקטורים, ששלושה מהם שווים זה לזה.



איור מס' 2

איור מס' 3 מתאר שני וקטורים המנוגדים זה לזה. לכל אחד ערך מוחלט זהה. כאשר כיוון הווקטור $\vec{a}_1$ נבחר כחיובי, אנו רושמים: $\vec{a}_1 = -\vec{a}_2$.



איור מס' 3

ניתן גם לבחור את כיוון הווקטור $\vec{a}_2$ ככיוון החיובי והשוויון ישתנה: $-\vec{a}_1 = \vec{a}_2$.

<u>חיבור וקטורי</u> – כידוע, תוצאת פעולת החיבור נקראת סכום. מטרת החיבור היא להחליף מספר גורמים מאותו סוג בגורם אחד. וקטור הסכום נקרא **הווקטור השקול,** והוא מחליף מספר וקטורים בווקטור אחד.
נתבונן במקרה הבא: נתונים שני וקטורים **a** ו – **b** (איור מס' 4) שנמצאים על אותו הקו, כך ש"זנב" הווקטור השני נמצא בנקודה בה נמצא "ראש" הווקטור הראשון.



איור מס' 4

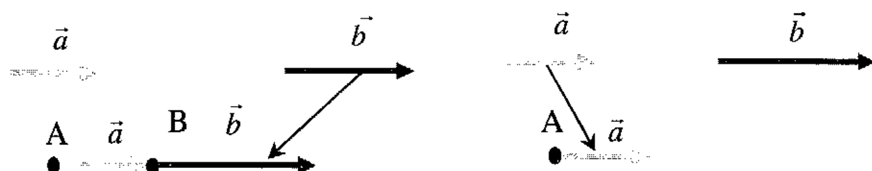
מתוך הציור נובע, כי הווקטור השקול **c** שווה לסכום הווקטורי של שני המחוברים.
הערך המוחלט של הווקטור השקול בדוגמה שלמעלה שווה לסכום מודולים של כל אחד מהמחוברים, וכיוונו זהה לכיוון של שני הווקטורים. המשוואה של החיבור הווקטורי היא:

$$\mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$$

וגם מתקיים:

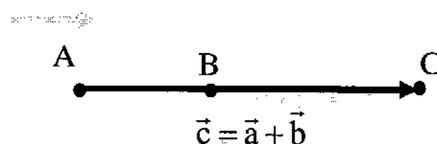
$$c = a + b$$

כעת ננסח את הכללים של חיבור שני וקטורים בצורה גרפית. כדי לחבר שני וקטורים, וקטור **a** עם וקטור **b** , בשלב הראשון (איור מס' 5) בוחרים נקודה כלשהי, למשל, נקודה A, ומעתיקים אליה אחד מהווקטורים המחוברים, למשל את הווקטור **a**. חובה עלינו להקפיד על שמירת הכיוון והגודל של הווקטור המועתק. בשלב השני (איור מס' 6) מעתיקים את הווקטור **b** לנקודה B בה נמצא ה"ראש" של הווקטור **a**. בשלב השלישי (איור מס' 7) מציירים את הווקטור השקול **c**. הווקטור השקול **c** מתחיל מנקודה A בה נמצא ה"זנב" של הווקטור **a** ומסתיים בנקודה C בה נמצא ה"ראש" של הווקטור **b**.



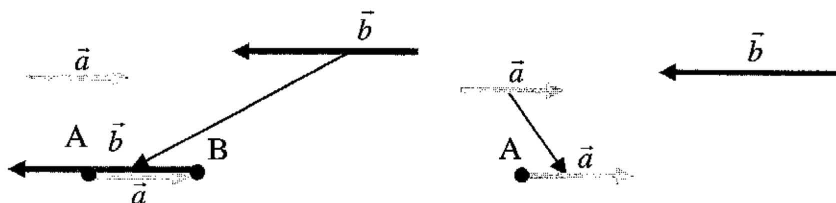
איור מס' 6:
שלב שני בחיבור וקטורים

איור מס' 5:
שלב ראשון בחיבור וקטורים

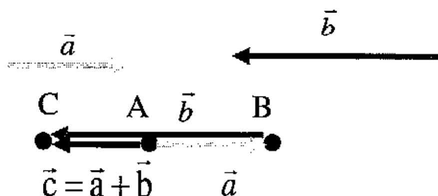


איור מס' 7: שלב שלישי בחיבור וקטורים

באותה השיטה משתמשים גם לחיבור וקטורים עם כיוונים מנוגדים.

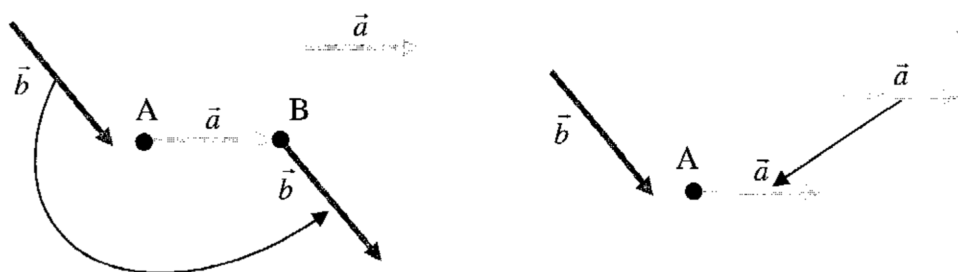


איור מס' 8: שלב ראשון בחיבור וקטורים איור מס' 9: שלב שני בחיבור וקטורים

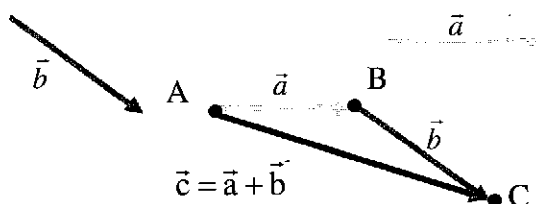


איור מס' 10: שלב שלישי בחיבור וקטורים

כלל אין חשיבות לכיווני הווקטורים מחוברים. באיורים למטה נראה מקרה כללי של בניית וקטור שקול.



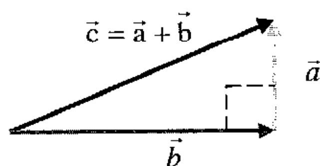
איור מס' 11: שלב ראשון בחיבור וקטורים איור מס' 12: שלב שני בחיבור וקטורים



איור מס' 13: שלב שלישי בחיבור וקטורים

בסוף התהליך קיבלנו משולש בו שתי צלעותיו הן הווקטורים המחוברים והצלע השלישית הוא הווקטור השקול. הכלל המנוסח מטה נקרא כלל המשולש. לפי כלל המשולש, לנקודה שבה נמצא ראש הווקטור הראשון מעתיקים את הווקטור השני. תחילת הווקטור השקול מתלכדת עם תחילת הווקטור הראשון, וסופו של הווקטור השקול מתלכד עם הנקודה בה נמצא סוף הווקטור השני. הווקטור השקול יהיה הצלע השלישית של המשולש בו שתי צלעות האחרות הן הווקטורים המחוברים. בחיבור של יותר משני וקטורים הווקטור השקול הוא הצלע הסוגרת את המצולע.

כאשר שני הווקטורים המחוברים מאונכים זה לזה, התוצאה של חיבור הווקטורים היא משולש ישר זווית. שני הווקטורים (איור מס' 14) המחוברים הם ניצבים זה לזה, הווקטור השקול הוא יתר המשולש ואת הערך המוחלט של הווקטור השקול אנו יכולים לחשב בעזרת משפט פיתגורס.

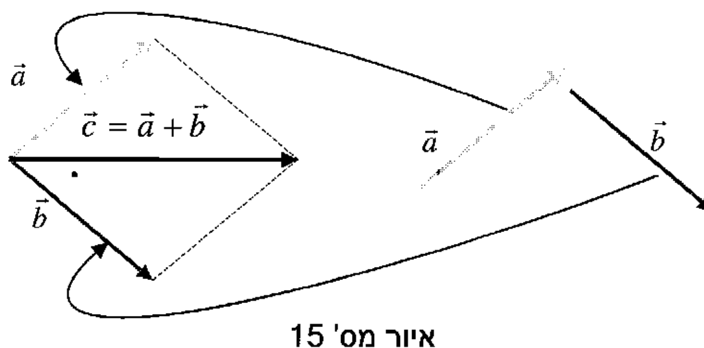


$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

איור מס' 14

למדנו את הכלל לבניית וקטור שקול, הנקרא כלל משולש. כאשר מחברים בו זמנית יותר משני וקטורים, מתקבל מצולע. לכן לעיתים קרובות כלל זה מכונה כלל המצולע. כלל אחר למציאת הווקטור השקול נקרא כלל מקבילית. כאשר מעתיקים את שני הווקטורים המחוברים לאותה הנקודה, הווקטור השקול מיוצג על ידי אלכסון מקבילית. הווקטור השקול מתחיל מהנקודה המשותפת לשני המחוברים. (ראה איור מס' 15 שלמטה).

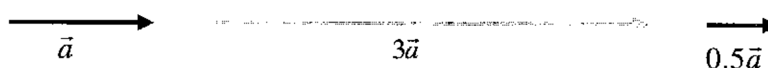


איור מס' 15

בדומה לחיבור רגיל, סכום וקטורי לא תלוי בסדר המחוברים.

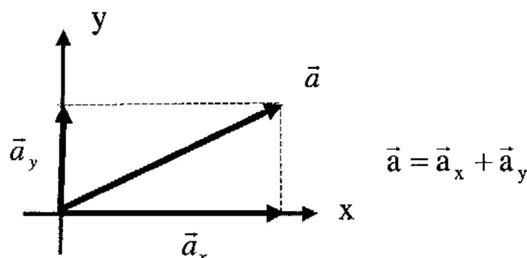
$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$$

<u>מכפלת וקטור בסקלר</u> - בפעולה זאת אנו מקבלים וקטור חדש שכיוונו מתלכד עם הווקטור המקורי. המודול של הווקטור החדש שווה למכפלת הגורמים (ראה איור מס' 16 למטה). באיור 16 החץ הגדול מייצג את הווקטור **3a**, והחץ הקטן מייצג את הווקטור **0.5a** .



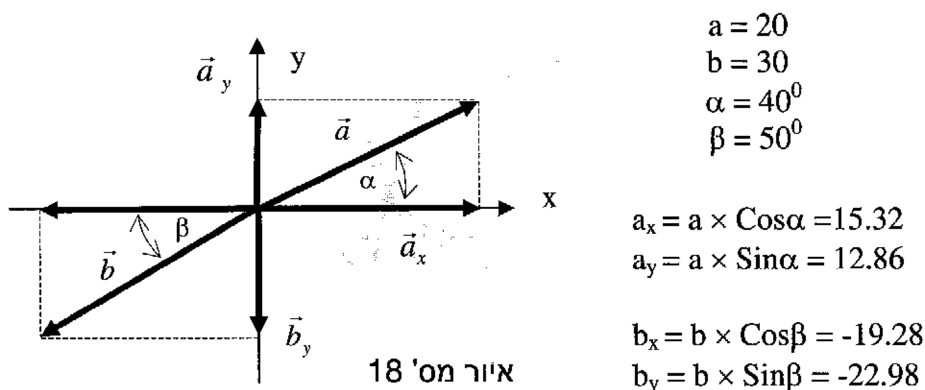
איור מס' 16

<u>פירוק וקטור לרכיבים</u> - פעולה זו הפוכה לחיבור וקטורי. משמעותה, החלפת הווקטור בשני וקטורים אחרים. הווקטורים המתקבלים עקב פעולת הפירוק נקראים רכיבים. ישנם אינסוף אפשרויות החלפת ווקטור בשני רכיביו. נהוג לפרק וקטור לשני רכיבים המאונכים זה לזה. למציאת הרכיבים מציבים את הווקטור המפורק בראש מערכת צירים ומורידים אנכים לשני הצירים. (ראה איור מס' 17). רכיב מסוים מסמנים כמו וקטור עם תוספת אות של הציר בשורה התחתונה. חשוב לזכור, כי הרכיבים של וקטור הם גם ווקטורים. הווקטור המפורק מהווה את הווקטור השקול של רכיביו.



איור מס' 17

לחישוב הערך המספרי של רכיבו של וקטור אנו צריכים לחשב שני דברים: את המודול של הווקטור המפורק ואת גודל הזווית בין ציר ה - x לבין הווקטור עצמו. הווקטור המפורק ורכיביו יוצרים משולש ישר זווית. על סמך הגדרות טריגונומטריות של סינוס וקוסינוס ניתן למצוא את הרכיבים כצלעות משולש. באיור מס' 18 נמצאת דוגמה של פירוק לרכיבים של שני וקטורים.
למשל :



איור מס' 18

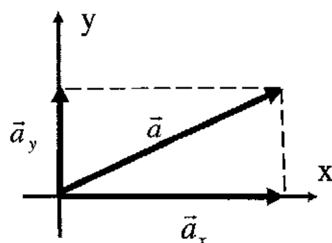
משפט פיתגורס נותן לנו קשר נוסף בין המודול של וקטור **a** ורכיביו. בצורה דומה מחשבים גם את המודול של הווקטור **b**.

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

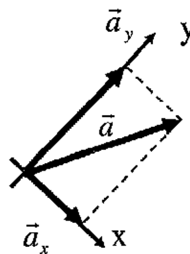
$$b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2}$$

בחלק מספרי הפיסיקה בחישובים נהוג לקחת את הזווית החדה שבין כיוון הווקטור וציר ה- x. סינוס וקוסינוס של זווית חדה הם תמיד מספרים חיוביים, עקב כך רכיבים של ווקטור כלשהו הם חיוביים ,אם כיוון הרכיב זהה לכיוון חיובי של הציר ושליליים, אם כיוון הרכיב מנוגד לכיוון החיובי של הציר המתאים.

בלימודי מתמטיקה מקובל, שציר ה - x הוא תמיד אופקי וציר ה - y הוא תמיד אנכי (איור מס' 19). מה יקרה, אם ננסה לפרק וקטור לרכיבים במערכת צירים שבה הצירים בכיוון שרירותי (איור מס' 20).

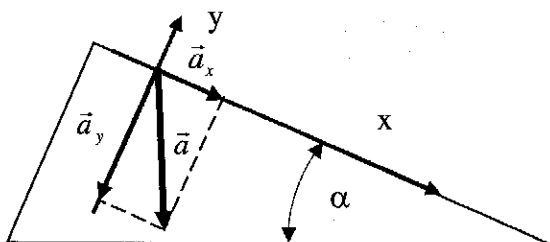


איור מס' 19



איור מס' 20

מאיור מס' 20 נובע, כי שני הרכיבים של וקטור **a** השתנו: גם הגודל וגם הכיוון, ולמרות זאת, גם הגודל, גם הכיוון של וקטור **a** נשמרים. המאפיין הנ"ל מאפשר לנו לבחור על פי צרכי המצב את כיוון מערכת הצירים שעל פיה נפרק וקטור לרכיביו.
בפיתרון בעיות הקשורות עם פירוק וקטור לרכיבים, נוח לבחור כיוון מערכת צירים בכיוון הווקטור המפורק. בפתרון בעיות גופים הנמצאים על פני מישור משופע נוח לכוון את ציר ה - x במקביל למישור המשופע ואת ציר ה - y במאונך לו, כפי שמתואר באיור מס' 21.



$a_x = a \times \text{Sin}\alpha$

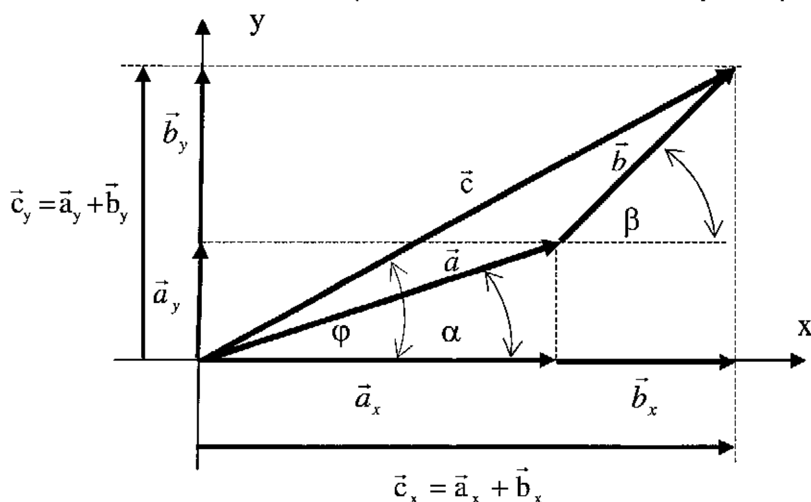
$a_y = - a \times \text{Cos}\alpha$

איור מס' 21

2.4 מציאת הווקטור השקול על פי רכיביהם של וקטורים מחוברים

משמעות הפעולה היא לחשב את המודול של הווקטור השקול ואת הזווית בין הווקטור לבין ציר ה – x. למען פתרון הבעיה, בשלב הראשון מפרקים את הווקטורים המחוברים לרכיבים ומחשבים את הערכים המספריים של כל אחד מהם (b_x, b_y , a_x, a_y). בשלב הבא מחשבים את הערכים המספריים של רכיבי הווקטור השקול (c_x, c_y).

אחר כך מחשבים את הערך המוחלט של הווקטור השקול ואת הזווית φ שבין הווקטור השקול לבין ציר ה – x. (איור מס' 22).



איור מס' 22

$a_x = a \times \cos\alpha$ $\quad$ $b_x = b \times \cos\beta$

$a_y = a \times \sin\alpha$ $\quad$ $b_y = b \times \sin\beta$

$$\vec{c}_x = \vec{a}_x + \vec{b}_x \qquad c = \sqrt{c_x^2 + c_y^2}$$

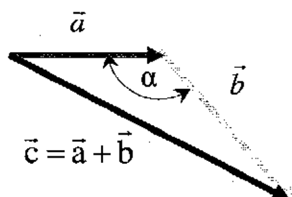
$$\vec{c}_y = \vec{a}_y + \vec{b}_y \qquad \tan\varphi = \frac{c_y}{c_x}$$

את הערך המוחלט של הווקטור השקול ניתן לחשב על פי משפט פיתגורס.

את הזווית בין ציר ה - x לבין הווקטור השקול מחשבים על פי הגדרת הטנגנס.

במקרה של כלל המשולש לחישוב הווקטור השקול נוח להשתמש במשפט הקוסינוס (איור מס' 23). על פי המשפט:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha$$

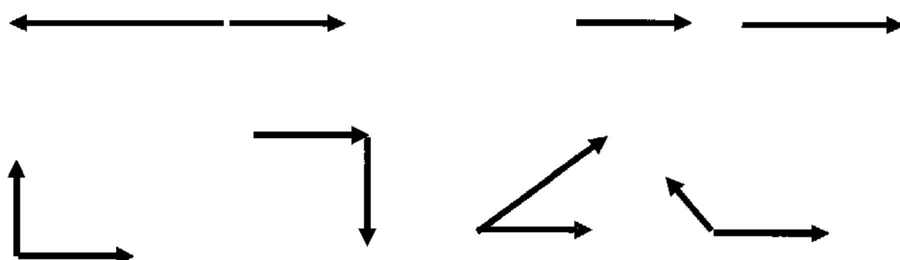


איור מס' 23

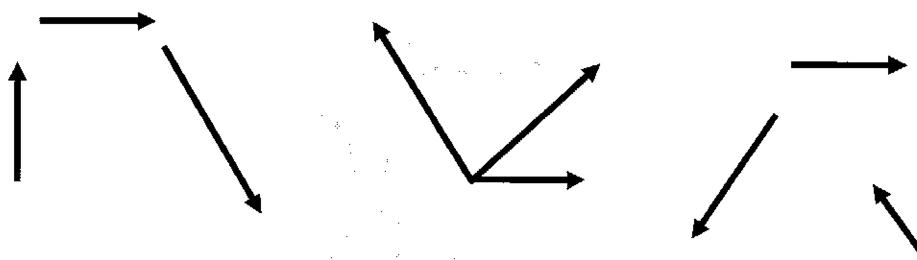
2.5 בעיות:

1. צייר את הווקטור השקול במקרים הבאים:

א. נתונים שני וקטורים



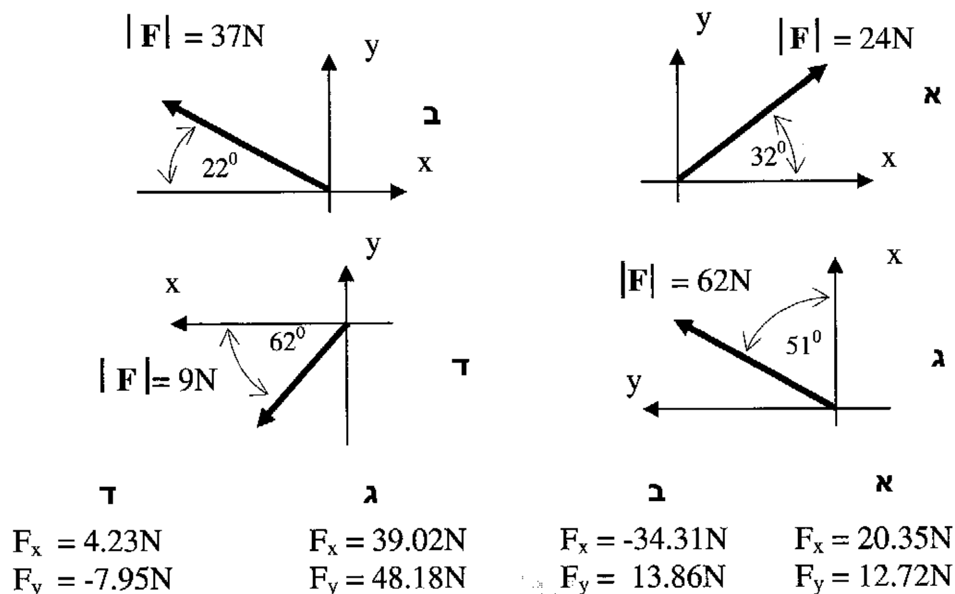
ב. נתונות קבוצות של שלושה וקטורים



ג. נתונות קבוצות של ארבעה וקטורים

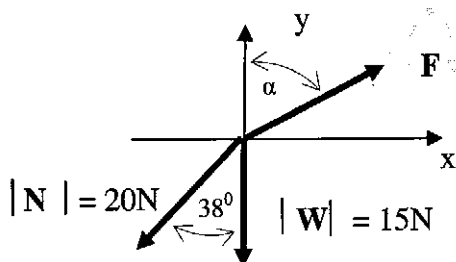


2. פרק את הווקטורים לרכיבים במערכת הצירים הנתונה . צייר ורשום אותם. שים לב מהם סימנים של הרכיבים ומהי הזווית בין ציר ה- **x** לבין הווקטור הנתון.

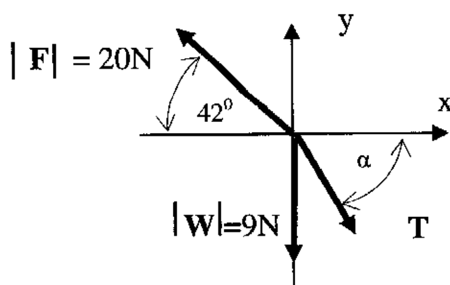


ד	ג	ב	א
$F_x = 4.23N$	$F_x = 39.02N$	$F_x = -34.31N$	$F_x = 20.35N$
$F_y = -7.95N$	$F_y = 48.18N$	$F_y = 13.86N$	$F_y = 12.72N$

3. הכוח השקול של כוחות הפועלים על הגוף שווה לאפס.
מהו הגודל והכיוון של הכוח **F** ?
F =33.13N
$\alpha = 111.81^0$



4. הכוח השקול של הכוחות הפועלים על הגוף שווה לאפס.
מהו הגודל והכיוון של כוח **T** ?
T=15.49N
$\alpha = 16.42^0$



5. הזווית בין הווקטור $a = 10$ לבין הכיוון החיובי של ציר ה – **x** היא 40^0 . מצא את רכיבי הווקטור. (a_x=7.66, a_y=6.43)

6. נתונים שני רכיבים של הווקטור: a_x= 8 ,a_y= 6 . מצא את הווקטור השקול. (גודל וכיוון). (a=10, φ=36.87^0)

7. מצא את הגודל וכיוון של הווקטור, אם רכיבים הם: $a_y = -10$,$a_x = 50$ (a=50.99, φ=-11.31^0)

8. הסכום של שני וקטורים $a = 6$ ו - $b = 7$ הוא הווקטור $c = 10$. מהי הזווית בין הווקטור **a** לבין הווקטור **b** ? (φ=79.71^0)

9. רכיב a_x הוא רבע מהווקטור. רכיב $a_y = 10$. מצא את הגודל והכיוון של הווקטור. (a=10.33 ,φ=75.52^0)

10. הזווית בין וקטור תלת ממדי a=20 לבין המישור xOy 40^0 . הזווית בין רכיב a_{xy} הווקטור **a** לבין ציר ה- x היא 30^0 . מצא את רכיבי הווקטור. (a_z =12.86 a_y =7.66 a_x =13.27)



פרק 3: תנועה קצובה בקו ישר, מהירות

3.1 מהירות

קצב תנועת גוף בודד או מספר גופים יכול להיות שונה, או במלים אחרות, מהירות התנועה יכולה לקבל ערכים שונים.
תנועת גוף, שבה הוא נע לאורך קו ישר ועובר מרחקים שווים בפרקי זמנים שווים, נקראת תנועה קצובה, או תנועה שוות מהירות. באופן כללי מהירות תנועה קצובה מוגדרת כיחס בין העתק הגוף לבין משך זמן תנועתו. מהירות הגוף היא וקטור, שכיוונו מתלכד עם כיוון וקטור ההעתק:

$$\vec{V} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

V - וקטור המהירות
Δx - וקטור ההעתק
$\Delta t = t - t_0$ - פרק הזמן

מהירות של תנועה קצובה שווה לשינוי קואורדינטת הגוף ביחידת זמן, כי

$$\Delta x = x - x_0 .$$

מהירות של תנועה קצובה הוא גודל קבוע. את מהירות הגוף הנע בתנועה קצובה לאורך ציר ה - x, מחשבים על פי הגדרתה תוך שימוש בנוסחה:

$$v = \frac{x - x_0}{t - t_0}$$

v – מהירות (m/sec)
x – קואורדינטה ברגע t (m)
x_0 – קואורדינטה התחלתית (m)
$t - t_0$ – פרק הזמן (sec)

על פי הנוסחה למעלה, מהירות יכולה לקבל גם ערכים חיוביים וגם ערכים שליליים. מהירות הגוף היא שלילית, כאשר הוא נע בכיוון הנגדי לכיוון של ציר נבחר. ברור, שהדבר מתרחש כאשר $x < x_0$.

במערכת יחידות בינלאומית SI, יחידה המהירות היא 1מ'/שנייה = 1m/sec. בחיי היום-יום מקובל למדוד מהירות ב - ק"מ/שעה = km/h . 1מ'/שנייה = 3.6 ק"מ/שעה.
כדי לעבור ממטרים לשנייה לקילומטרים לשעה צריך להכפיל את הערך המספרי של המהירות במספר קבוע - 3.6 ולהיפך. למשל:

$$15\text{m/sec} = 15\times3.6\text{km/h} = 54\text{km/h}$$

כאשר $x_0=0$ ו - $t_0=0$ מקבלים נוסחה פשוטה יותר לחישוב מהירות של תנועה קצובה:

$$v = \frac{x}{t}$$

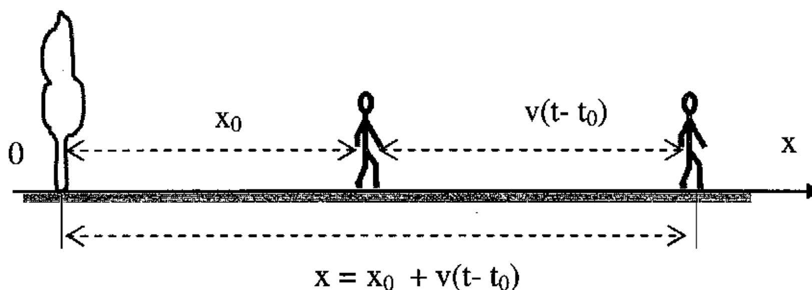
3.2 משוואות התנועה

אחת מהשיטות לפתרון בעיות תנועה היא שימוש בהנדסה אנליטית ובמשוואות הדומות למשוואת ישר העובר דרך נקודה מסוימת, כאשר ידוע שיפוע הישר. ההבדל בין המכניקה להנדסה האנליטית הוא בסימנים. בהנדסה אנליטית משתנה בלתי תלוי מסומן ב - x, לעומת זאת, במכניקה הגוף נע לאורך ציר ה - x והמשתנה הבלתי תלוי הוא הזמן וסימנו – t . נבנה עתה משוואה, שבאמצעותה אנו יכולים לחשב את מיקומו של גוף הנע במהירות קבועה ובקו ישר ברגע כלשהו. למשל, הולך רגל הנע בשביל, כפי שמוצג באיור מס' 1. את העץ שליד השביל נבחר כגוף הייחוס. נכוון את ציר ה – x בכיוון תנועתו של הולך הרגל. נקודת האפס של הציר מתלכדת עם הנקודה בה נמצא העץ. את המרחק שבין הולך הרגל לבין ראשית ציר ה - x ברגע התחלתי, כאשר $t_0 = 0$, מקובל לסמן ב – x_0. המרחק שהולך הרגל עבר בפרק זמן t של הליכתו שווה למכפלת מהירותו בזמן התנועה, כלומר $V(t - t_0)$. מיקומו הולך הרגל ברגע t , יהיה:

$$x = x + v(t - t_0)$$

משוואה בה קואורדינטת הגוף היא פונקציה של הזמן נקראת **משוואת התנועה**. הצבה של הערך המספרי של רגע מסוים במשוואה מאפשרת לנו לחשב את מיקום הגוף באותו הרגע.

כאשר הגוף נע בכיוון חיובי של ציר ה – x, הערך המספרי של מהירותו, ה - V_x, חיובי.
כאשר תנועת הגוף בכיוון הנגדי לכיוון של ציר ה – x, הערך המספרי של מהירותו, ה - V_x, שלילי.



איור מס' 1: תנועת גוף לאורך קו ישר

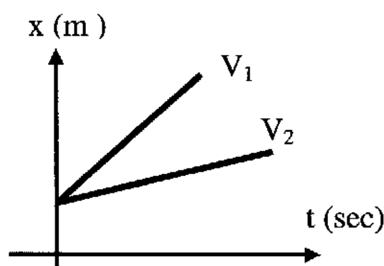
3.3 גרפים של תנועה שוות מהירות

את התלות בין המשתנים של משוואת התנועה נוח לייצג באמצעות גרף. ביטוי מתמטי של משוואת התנועה ידוע בשם הפונקציה הקווית, כיוון שהגרף שלה הוא קו ישר.

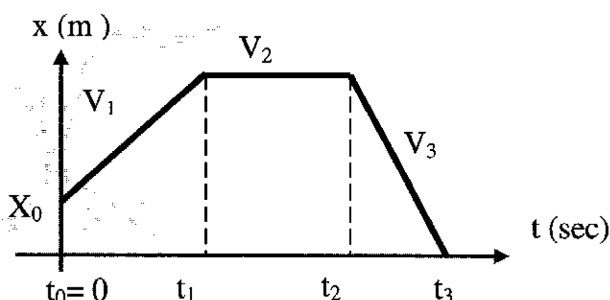
בבניית גרף של קואורדינטת הגוף כפונקציה של הזמן, הציר האופקי מייצג ערכים של הזמן **t**, והציר האנכי מייצג את הערכים של קואורדינטת המקום של הגוף - **x**. שיפוע הגרף תלוי בגודל של מהירות הגוף.

בדוגמה שלנו (איור מס' 2) נמצאים שני קוים עם שיפועים שונים, המייצגים את משוואות התנועה של שני גופים. מהירות הגוף הראשון גדולה ממהירות הגוף השני, כלומר, $V_1 > V_2$. ניתן להסיק זאת מכך שהשיפוע של קו "1" גדול מהשיפוע של קו "2".

באמצעות גרף אנו יכולים לתאר את תנועת הגוף, גם אם חלו שינוים או בגודל מהירות, או בגודל ובכיוון המהירות. הגרף שלמטה (איור מס' 3) מתאר תנועת גוף בפרקי זמן שונים. בפרק הזמן הראשון שבין הזמנים $t_0 = 0$ ו – t_1 הגוף נע בכיוון חיובי של ציר ה – x ומהירותו V_1 . בפרק הזמן השני שבין הזמנים t_1 ו – t_2 הגוף היה במנוחה ומהירותו $V_2 = 0$ היא אפס. בפרק הזמן השלישי שבין הזמנים t_2 ו – t_3 הגוף נע בכיוון השלילי של ציר ה – x, ומהירותו V_3. ברגע ההתחלתי הגוף היה בנקודה x_0, וברגע t_3 הגוף היה בנקודה $x_3 = 0$. כדי לתאר את תנועה הגוף במקרה זה אנו צריכים לכתוב שלוש משוואות התנועה: לכל פרק זמן משוואה משלו.

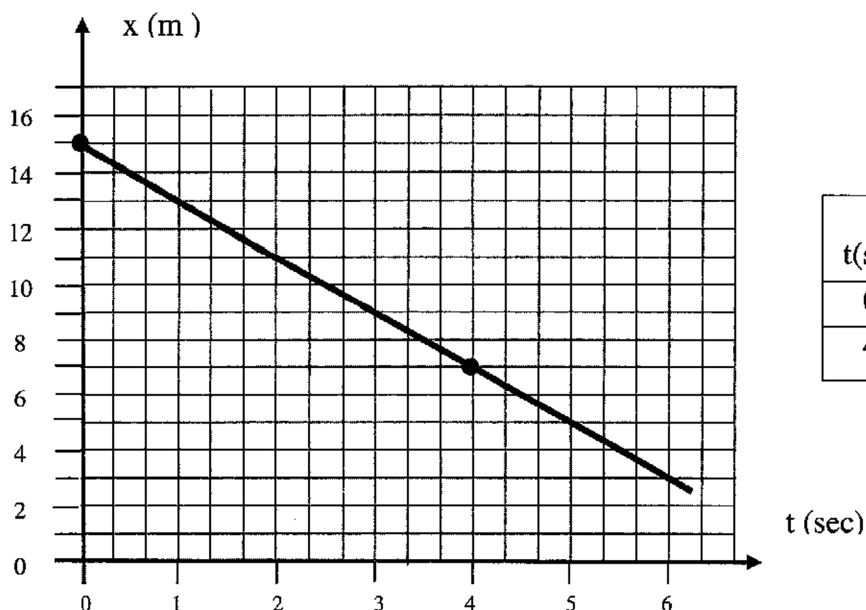


איור מס' 2



איור מס' 3

באופן מעשי ניתן לבנות גרף של תנועה מסוימת על פי משוואת התנועה. לבניית הגרף ממלאים טבלה של תלות הקואורדינטה בזמן. למשל, כדי לבנות את גרף התנועה המתוארת באמצעות המשוואה הבאה: $x = 15- 2t$, כאשר הקואורדינטה נמדדת במטרים והזמן בשניות, ממלאים הטבלה, כלומר, נותנים ערכים מסוימים ל – t, מציבים אותם במשוואת התנועה ומקבלים את הערכים של הקואורדינטה. נוח לקחת t = 0, ומתוך הצבה נקבל $x = 15m$. כאשר $t = 4sec$, הקואורדינטה $x = 7m$. **לבניית** הגרף מספיקות שתי נקודות, זכור – גרף תנועה קצובה הוא **תמיד** קו ישר (איור מס' 4).



t(sec	x(m)
0	15
4	7

איור מס' 4

X(m)

B

00.06

00.04

00.02

V

00.00

A

16 14 12 10 8 6 4 2 0

D

C

0 1 2 3 4 5 6 t (sec)

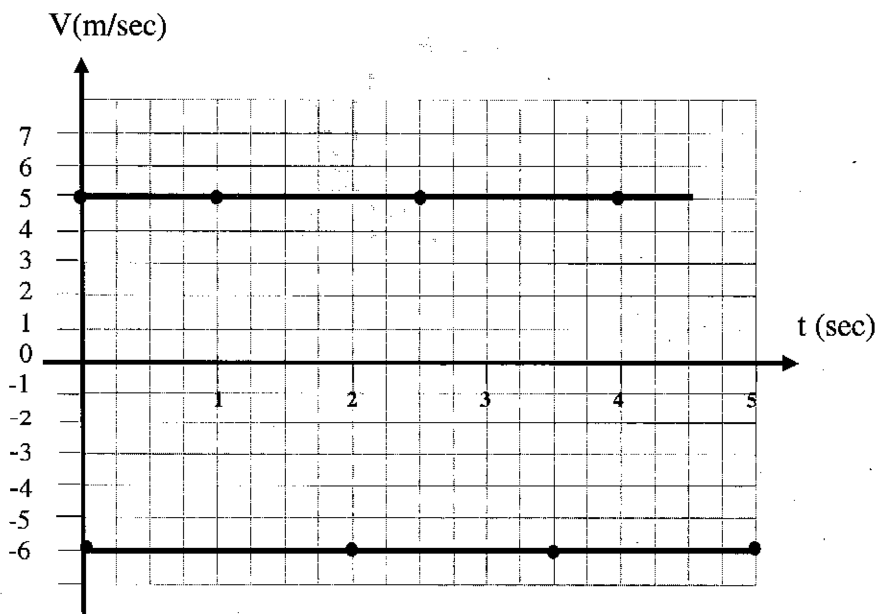
00.00 00.02 00.04 00.06

איור מס' 5

שגיאה הנפוצה אצל תלמידים, המתחילים ללמוד על גרפים המתארים תנועה, היא התייחסות לגרף כמו למסלול תנועת הגוף. ההתלבטות נובעת מצורת הגרף, כי מסלול גוף הנע לאורך קו ישר במהירות קבועה וגרף תנועתו - שניהם קווים ישרים. נמחיש זאת בדוגמה הבאה: אדם נע במהירות קבועה $V= 2m/sec$ לאורך דרך ישרה בכיוון צפון. ברגע $t_0= 0$ הקואורדינטה שלו $x_0 =4m$. נכוון את ציר ה - x בכיוון התנועה. מסלול תנועתו יהיה קטע הקו AB, גרף התנועה הוא הקו CD .

3.4 גרף מהירות תנועה קצובה

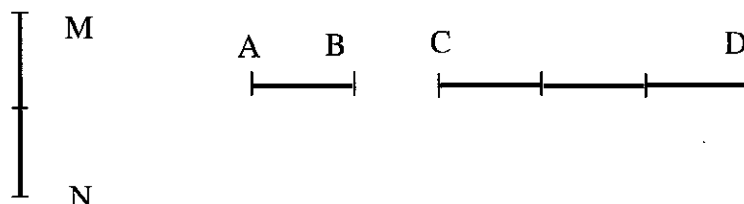
גרף של מהירות תנועה קצובה הוא קו ישר המקביל לציר הזמן. ניקח לדוגמה תנועה שוות מהירות שבה מהירות הגוף שווה ל - $V_1=5m/sec$. ברגע $t_0 = 0$ מהירותו היא 5m/sec . ברגעים אחרים כמו $t_1 = 1sec$, $t_2 = 2.5sec$ - ו $t_3 = 4sec$ מהירותו עדיין שווה ל - 5m/sec (איור מס' 6). נסמן את כל הנקודות ונחבר אותן. קיבלנו קו ישר – גרף המהירות $V_1=5m/sec$. כאשר גוף נע גם בתנועה שוות מהירות $V_2=6m/sec$ בכיוון שלילי יחסית לציר הנבחר, הנקודות על הגרף נמצאות מתחת לציר הזמן. ערכי המהירות של הגוף השני נתונים בזמנים אחרים מאלו של הגוף הראשון.



איור מס' 6

גרף, המתאר את מהירות תנועתו של גוף כפונקציה של הזמן, מאפשרים לחשב את העתקו של הגוף בפרק זמן מסוים. כדי להבין את הדבר נעזר בשימוש בסימני ערכים מספריים. למשל, את הערך המספרי השווה לאחת, ניתן לבטא באמצעות הספרות "**1**", או "**I**" או באמצעות מלים: אחת, או **one**, או באמצעות צורות הנדסיות, כמו גודל קטעים, שטחים של מלבנים, או שטחים של עיגולים.

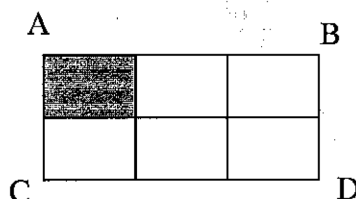
את הערך המספרי שלוש ניתן לייצג באמצעות הקטע CD (איור מס' 7), שאורכו גדול פי 3 מאורך קטע AB הנבחר כאחת, באופן הבא:



איור מס' 7

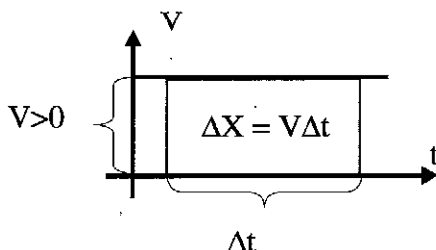
אין חשיבות לכיוון: הקטעים יכולים להיות גם אופקיים וגם אנכיים. למשל, הקטע MN (איור מס' 7) מייצג את המספר "2".

לייצוג מכפלה של שני משתנים יותר נוח להשתמש לא בשטחים (ולא בקטעים). כך את המכפלה של שני גורמים, אשר אחד מהם AB שווה ל - 2 והשני AC שווה ל – 3, אנו מייצגים באמצעות המלבן ABCD שאורכו שתי יחידות ורוחבו שווה לשלוש (איור מס' 8). יחידה של אורך הקטע הנבחר כאחד (קנה המידה) בכיוון האופקי לא חייב להיות שווה לאורך הקטע הנבחר כיחידה בכיוון האנכי. שטח המלבן ABCD מייצג את המכפלה השווה ל - 6, כי שטחו גדול פי 6 משטח מלבן האפור, המייצג את מספר האחד.

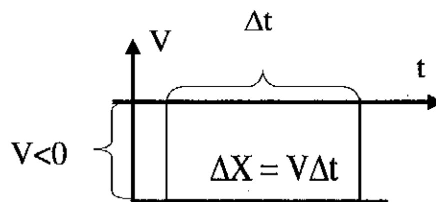


איור מס' 8

בדומה לכך אני יכולים להסיק את המסקנה הבאה: השטח שמתחת לגרף המהירות כפונקציה של הזמן (איור מס' 9), מייצג את המרחק שהגוף עבר בפרק הזמן Δt. צורת השטח הוא מלבן, והצלעות שלו הן פרק הזמן Δt והמהירות V. מכפלת מספר יחידות הזמן במספר יחידות המהירות נותנת לנו את מספר יחידות השטח, השווה למספר יחידות ההעתק. כאשר גוף נע בכיוון נגדי לכיוון הציר שנבחר, מהירותו שלילית וגם ההעתק שלילי. במקרה זה אנו מייצגים את העתק באמצעות השטח שמתחת לציר הזמן (איור מס' 10).



איור מס' 9



איור מס' 10

כעת נראה מספר דוגמאות לשימוש במשוואות התנועה בפתרון בעיות שונות של תנועת גופים.

דוגמה 1. רוכב אופניים נע שמאלה במהירות קבועה של 3m/sec. ברגע מסוים הוא היה במרחק 45m מימין לצומת.

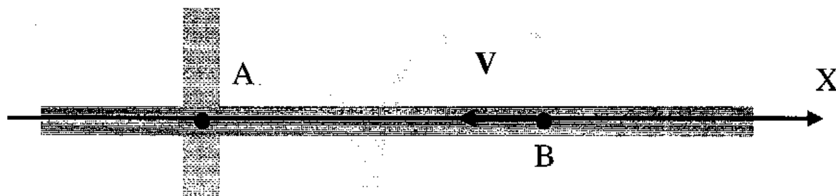
א. רשום את משוואת התנועה.

ב. מהו מיקומו ברגע $t_1 = 4sec$?

ג. מהו המרחק בינו לבין הצומת כעבור 14sec?

ד. מתי רוכב האופניים יהיה במרחק 60m שמאלה מהצומת?

פתרון בעיות תנועה תמיד כולל מספר שלבים, השלב הראשון הוא בחירה מערכת הייחוס: (גוף הייחוס, הכיוון החיובי של ציר או מערכת הצירים וקביעת הרגע ההתחלתי). בוחרים את הצומת כגוף הייחוס ונכוון את ציר ה -x ימינה, בכיוון הנגדי לכיוון התנועה. נבחר את הרגע ההתחלתי בו רוכב אופניים היה במרחק 45m מימין לצומת. נשרטט שרטוט ובו נסמן את הצומת באות A ואת המקום ההתחלתי של הרוכב באות B. נסמן באמצעות חץ את כיוון וקטור מהירות הרוכב.



איור מס' 11

משוואה כללית של תנועתו הקצובה של הגוף בקו ישר לאורך ציר ה –x היא:

$$x(t) = x_0 + V_x(t - t_0)$$

(הסימן x(t) בא במקום x ודומה לסימן פונקציה באלגברה. למשל, כאשר רוצים לציין מהו שיעור הגוף ברגע בו t =5sec, רושמים - x(5) . כדי לקבל משוואה המתאימה למקרה מסוים חייבים לרשום ערכים מספריים של x_0, V, t_0, ובדוגמה שלנו $x_0 = 45m$, $V_x = -3m/sec$, ומכיוון שהכיוון החיובי הוא ימינה, רושמים למהירות הגוף סימן מינוס, $t_0 = 0$ ולאחר הצבה במשוואה נקבל :

$$x = 45 - 3t$$

כדי לקבל תשובה לסעיף ב' מציבים במשוואה t = 4sec:

$$x(4) = 45 - 3t$$

$$x(4) = 45 - 3\times4 = 33m$$

מרחק בין שתי נקודות מחשבים כהפרש של הקואורדינטות שלהם:

$$S = x_2 - x_1$$

$x_1 = 0$ - הקואורדינטה של הצומת

$x_2(14)$ - הקואורדינטה של הרוכב ברגע $t_2 = 14sec$:

$$x_2(14)= 45- 3\times14= 3m$$

התשובה לסעיף ג' היא:

$$S=3-0=3m$$

על פי תנאי הבעיה $x(t_3) = -60m$

נציב את הערך של מיקום הרוכב לתוך משוואת התנועה:

$$-60 = 45- 3t_3$$

אחרי פתרון המשוואה נקבל את התשובה לסעיף ד':

$$\mathbf{t_3 = 35sec}$$

באותה דרך ניתן לפתור בעיות תנועה של שני גופים .

דוגמה 2. שני הולכי רגל יוצאים האחד לקראת השני משתי נקודות הנמצאות במרחק 300m זה מזה. מהירות הראשון 1.5m/sec ומהירות השני 1m/sec. הולך הרגל הראשון יצא לדרך 20sec אחרי היציאה של השני.

א. רשום את משוואות התנועה?

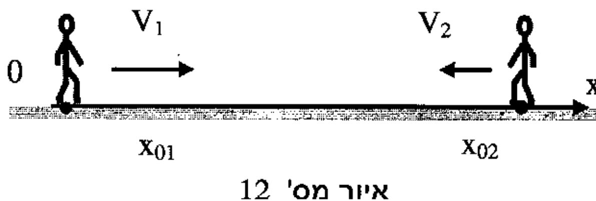
ב. מתי הם ייפגשו?

ג. באיזה מרחק מנקודת היציאה של הראשון נפגשו הולכי הרגל?

ד. מהו מרחק ביניהם 30sec אחרי רגע היציאה של הולך הרגל השני?

כפי שכבר נאמר, מתחילים את הפתרון מבנייה איור סכמאטי ובחירת מערכת הייחוס. הנקודות השחורות מסמנות את המיקום התחלתי של שני האנשים. מסמנים בחצים את המהירויות של שניהם. בוחרים את הנקודה בה נמצא הולך רגל הראשון כגוף הייחוס ונכוון את ציר ה – x ימינה. בוחרים את הרגע ההתחלתי כרגע היציאה של הולך הרגל השני. על פי הציור והבעיה רושמים בקצרה את הנתונים:

$x_{01}=0m$
$x_{02}=300m$
$V_{x1}=1.5m/sec$
$V_{x2}=-1m/sec$
$t_{01}=20sec$
$t_{02}=0$
$x_1(t)$- ?,
$x_2(t)$- ?,
t(פגישה) -?
Δx(פגישה) -?
$\Delta x_{(t=30sec)}$ -?



איור מס' 12

משוואה כללית של תנועה קצובה הגוף בקו ישר לאורך ציר ה -x:

$$x(t) = x_0 + V_x(t- t_0)$$

להולך הרגל הראשון: $x_1(t) = x_{01} + V_{x1}(t - t_{01})$

להולך הרגל השני: $x_2(t) = x_{02} + V_{x2}(t - t_{02})$

כדי לקבל משוואה המתאימה למקרה מסוים חייבים לרשום את הערכים המספריים של x_0 , V , t_0 . אחרי ההצבה נקבל את התשובה לסעיף א' :

$$x_1(t) = 0+1.5(t - 20)$$
$$x_2(t) = 300 - 1(t - 0)$$

המשמעות המתמטית של הפגישה, היא שלשני גופים בו-בזמנית אותה הקואורדינטה :

$$x_1(t_{\text{פגישה}}) = x_2(t_{\text{פגישה}})$$

אחרי ההצבה ופתרון המשוואה נקבל את התשובה לסעיף ב' :

$$0+1.5(t - 20) = 300 - 1(t - 0)$$
$$t_{\text{פגישה}} = 132\text{sec}$$

על מנת למצוא את המרחק בין נקודת היציאה של הראשון לבין נקודת הפגישה של הולכי הרגל חייבים לחסר בין שתי הקואורדינטות:

$$\Delta x(\text{פגישה}) = x_1(t_{\text{פגישה}}) - x_{01}$$

$$\Delta x(\text{פגישה}) = 0+1.5(132 - 20) - 0 = 168\text{m}$$

באותה השיטה ניתן למצוא את המרחק בין שני הולכי הרגל ברגע $t = 30\text{sec}$:

$$\Delta x_{(t=30\text{sec})} = 300 - 1(t - 0) - (0+1.5(t - 20))$$

$$\Delta x_{(t=30\text{sec})} = 300 - 1(30 - 0) - (0+1.5(30 - 20)) = 255\text{m}$$

3.5 בעיות

1. גוף הנע במהירות קבועה עבר 300m במשך 20sec. מהי מהירותו? (15m/sec)

2. מכונית נוסעת במהירות קבועה של 15m/sec. איזה מרחק תעבור המכונית במשך 6sec? (90m)

3. גוף נע במהירות קבועה של 5m/sec. כמה זמן דרוש לו כדי לעבור מרחק של 100m?
(20sec)

4. מכונית נוסעת במהירות קבועה של 90km/h. איזה מרחק תעבור המכונית במשך 40min? (60km)

5. בזמן הנסיעה, צריכים להקפיד על מרחק בטוח בין כלי הרכב. על פי הכללים, פרק הזמן מרגע שהרכב שלפניך חלף, למשל ליד העץ הקרוב לכביש, ועד לרגע שאתה חולף לידו, חייב להיות לא קטן משתי שניות. מהו המרחק בין כלי רכב, שנהגים צריכים לשמור עליו בזמן נסיעה, כאשר מהירות כלי הרכב היא 90km/h? (50m)

6. גוף נע במהירות קבועה. ברגע $t_1 = 2sec$ הגוף נמצא בקואורדינט $x_1 = 8m$ וברגע $t_2 = 6sec$ בקואורדינטה $x_2 = 24m$. מהי מהירות הגוף? (4m/sec)

7. גוף נע במהירות קבועה. ברגע $t_1 = 4sec$ הגוף נמצא בקואורדינטה $x_1 = 16m$, וברגע $t_2 = 10sec$ נמצא בקואורדינטה $x_2 = 4m$. $t_0 = 0$.
   א. מהו כיוון התנועה? מהי מהירות הגוף? ($V = -2m/sec$ בכיוון ציר ה-x השלילי)
   ב. מהי קואורדינטה המכונית ברגע $t = 0$? ($x_0 = 24m$).

8. משוואת התנועה של מכונית היא $x = 20 + 15t$.
   א. מהי מהירות המכונית?
   ב. מהי קואורדינטת המכונית ברגע $t = 4sec$?
   ג. בנה את גרף תנועת המכונית.
   (א. 15m/sec. ב. 80m)

9. משוואות התנועה של שתי מכוניות הנעות באותו כיוון הן: $x_1 = 20 + 25t$ ו – $x_2 = 40 + 15t$.
   א. מהן מהירויות המכוניות?
   ב. מתי הן תפגשנה?
   ג. מהו מרחק של נקודת הפגישה מראשית הציר?
   (א. 25m/sec, 15m/sec. ב. 2sec. ג. 70m)

10. גוף נע במהירות קבועה. הרגע ההתחלתי הוא $t_0=0$. ברגע $t_1 = 2sec$ הקואורדינטה היא $x_1 = 3m$, וברגע $t_2 = 6sec$ הקואורדינטה היא $x_2 = 19m$.
   א. מהי מהירות הגוף?
   ב. מתי היה הגוף בנקודה $x_0 = 0$?
   ג. רשום את משוואת התנועה.
   (א. 4m/sec. ב. 1.25sec. ג. $x_1 = -5 + 4t$)

11. שתי מכוניות יצאו בו זמנית זו לקראת זו משתי ערים, שהמרחק ביניהן 300km. למכונית האחת מהירות 70km/h, ולשנייה מהירות 80km/h.
   א. רשום את משוואות התנועה.
   ב. מתי המכוניות תפגשנה?
   ג. שרטט גרפים המתארים את התנועה.
   (א. $x_1 = 80t$, $x_2 = 300 - 70t$. ב. t=2h)

12. שתי מכוניות חייבות לנסוע מעיר אחת לשנייה. הן יוצאות בו זמנית מאותה העיר. לראשונה מהירות 60km/h, ולשנייה מהירות 70km/h. ברגע בו המכונית השנייה סיימה את תנועתה, המכונית הראשונה הייתה מרחק 80km מעיר היעד.
   א. רשום את משוואות התנועה של שתי המכוניות.
   ב. כמה זמן נמשכה הנסיעה של כל אחת מהמכוניות?
   ג. מהו המרחק בין הערים?
   ד. שרטט גרפים המתארים את התנועה.
   (א. $x_1 = 60t_1$, $x_2 = 70t_2$. ב. $t_2=8h$, $t_1=9\frac{1}{3}h$. ג. 560km)

13. שני גופים יצאו בו זמנית לאותו הכיוון משתי נקודות. מהירות הראשון 8m/sec, וברגע היציאה הוא נמצא במרחק 20m אחרי הגוף האיטי, שמהירותו 6m/sec.
   א. מהו המרחק ביניהם כעבור 4sec מתחילת התנועה?
   ב. מתי והיכן הגופים נפגשים?
   ג. מתי הגופים היו במרחק 40m זה מזה?
   ד. שרטט גרפים המתארים את התנועה.
   (א. 12m, ב. x =80m , t = 10sec, ג. t = 30sec)

14. שני גופים יצאו מאותו הנקודה לאותו הכיוון. מהירות הראשון 8m/sec, ומהירות השני 12m/sec. הגוף השני יצא לדרך 6sec לאחר יציאתו של הגוף הראשון.
   א. רשום את משוואות התנועה.
   ב. מתי והיכן הגופים נפגשים?
   ג. מתי הגופים היו במרחק 18m זה מזה?
   ד. מהו המרחק בין הגופים 10sec לאחר יציאת הגוף השני?
   (א. $x_1= 8t$, $x_2= 12(t-6)$ ב. x =144m , t = 18sec
   ג. $t_1 = 13.5sec$, $t_2 = 22.5sec$. ד. $\Delta x = 8m$)

15. שני גופים יצאו זה לקראת זה משתי נקודות, הנמצאות 200m זו מזו. מהירות הגוף הראשון 4m/sec, ומהירות הגוף השני 6m/sec. הגוף השני יצא לדרך 10sec לאחר יציאת הגוף הראשון.

א. רשום את משוואות התנועה.
ב. מתי והיכן הגופים נפגשים?
ג. מתי הגופים היו במרחק 100m זה מזה?
ד. מהו המרחק בין הגופים 8sec לאחר יציאת הגוף השני?
ה. שרטט גרפים המתארים את התנועה.

(א. $x_1= 4t$, $x_2=200- 6(t-10)$. ב. $x =104m$ $t = 26sec$.
ג. $t_1 = 16sec$, $t_2 = 36sec$. ד. $\Delta x =80m$)

16. שתי מכוניות יוצאות מעיר אחת לכיוון עיר שנייה. מהירות המכונית הראשונה היא 60km/h. מהירות המכונית השנייה 70km/h, והיא יצאה לדרך חצי שעה לאחר המכונית הראשונה.

א. רשום את משוואות התנועה של שתי המכוניות.
ב. כמה זמן נמשכה הנסיעה, אם משתי המכוניות יגיעו לעיר השנייה בו זמנית?
ג. מהו המרחק בין הערים?
ד. שרטט גרפים המתארים את התנועה.

(א. $x_1= 60t$, $x_2= 70(t-0.5)$. ב. $t = 3.5h$. ג. $\Delta x =210km$)

17. גוף נע במהירות קבועה של 8m/sec במשך 20sec ואחר כך הוא נע במהירות של 10m/sec.

א. רשום את משוואות התנועה.
ב. מתי היה הגוף במרחק 100m, ומתי במרחק 200m מנקודת היציאה?
ג. מהו מקום הגוף כעבור 40sec מתחילת תנועתו?

(א. $x_1= 8t$, $0\le t \le 20$, $x_2= 160+10(t-20)$, $t \ge 20$.
ב. $t_1=12.5sec$ $t_2 = 24sec$. ג. $\Delta x =360m$)

18. רוכב אופניים עבר שליש מהמרחק בין שתי הערים במשך 4 שעות ואת החלק האחר, הוא עבר במשך 6h שעות, אבל במהירות גדולה ב - 5km/h.

א. מהו המרחק שעבר רוכב האופניים?
ב. מהי מהירותו בכל אחד משני חלקי הדרך?

(א. $\Delta x =180km$. ב. $v_1= 15km/h$, $v_2= 20km/h$)

19. גוף עבר שני קטעי דרך. את הקטע הראשון עבר במהירות של 6m/sec ואת הקטע השני במהירות 10m/sec. אורך כל הדרך הוא 200m. תנועת הגוף נמשכה 26sec.

א. כמה זמן נמשכה התנועה בכל אחד מהקטעים?
ב. מהו אורך כל אחד מהקטעים?
ג. שרטט את גרף התנועה.

(א. $t_2 = 11sec$, $t_1 = 15sec$. ב. $x_2=110m$, $x_1= 90m$)

20. מטוס טס מעיר אחת לשנייה במשך 4h ובדרכו חזרה הוא טס 5h, אבל במהירות קטנה ב – 100km/h .

א. מהו המרחק בין שתי הערים?

ב. מהי מהירות המטוס בכל אחת משתי הטיסות?

(א. $\Delta x = 2000km$. ב. $v_1 = 500km/h$, $v_2 = 400km/h$)

21. לסירת מנוע נדרשות 3שעות כדי לעבור מנמל אחד לשני. כדי לעבור מרחק זה נדרשות לרפסודה 12שעות. כמה זמן נדרש לסירה כדי לחזור לנקודת היציאה נגד כיוון זרימת הנהר? ($t = 6h$)

22. הטבלה שלפניך מתארת מיקום מכונית (X) כפונקציה של הזמן (t).

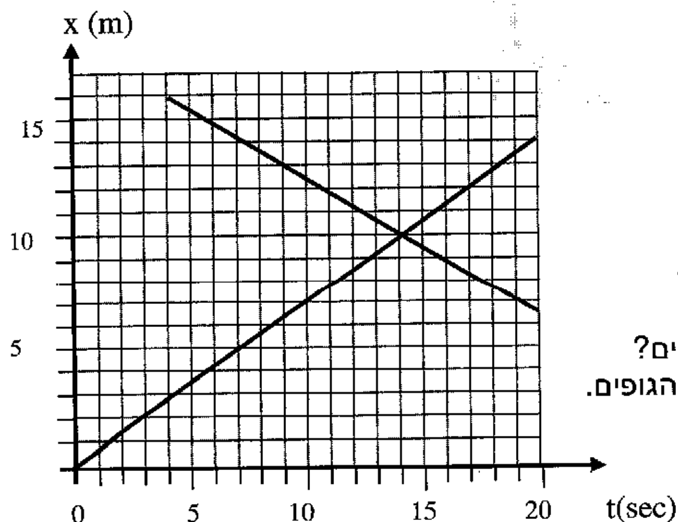
א. שרטט גרף המתאר את מיקום המכונית כפונקציה של הזמן t מרגע t=0 עד רגע t=18sec.

ב. חשב את גודל המהירות.

ג. רשום את משוואת תנועת הגוף.

t(sec)	0	4	8	12	16	20	24
x(m)	3	5	7	9	12	15	18

(ב. $V = 0.5m/sec$, ג. $x_1 = 0.5t$)



23. שני גופים נעים על קו ישר.
הגרף מתאר את המרחקים x של כל אחד משני הגופים מנקודה x=0 על הקו הישר כפונקציה של הזמן t.

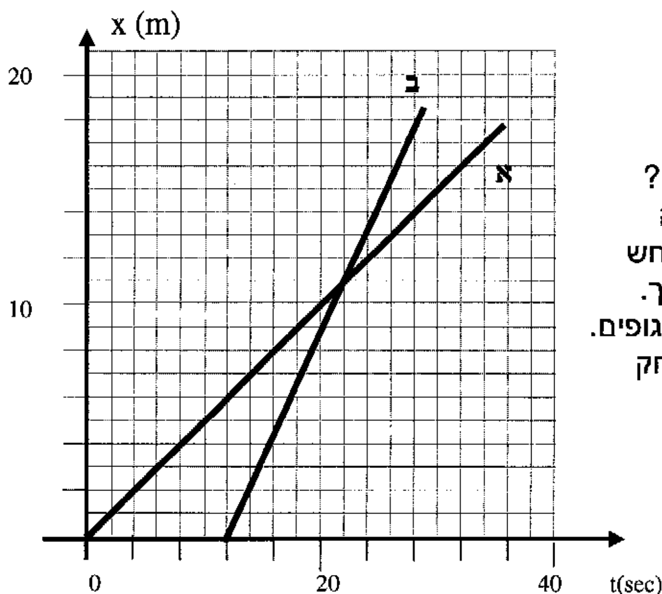
א. מהי המהירות של כל אחד מהגופים?

ב. מתי והיכן ייפגשו שני הגופים?

ג. רשום את משוואות תנועת הגופים.

(א. $0.7m/sec$, $-0.6m/sec$. ב. 10m, 14sec . ג. $x_1 = 0.7t$, $x_2 = 16-0.6(t-4)$)

24. שני גופים שיצאו מאותה נקודה, נעים בכיוון אחד. הגרפים שלפניך מתארים את מיקומו של כל אחד מהגופים כפונקציה של הזמן. ברגע $t_0=0$ יצא הגוף הראשון.



א. האם מהירות גוף א' היא קבועה? אם לא – נמק. אם כן - חשב את גודל המהירויות של שני הגופים.

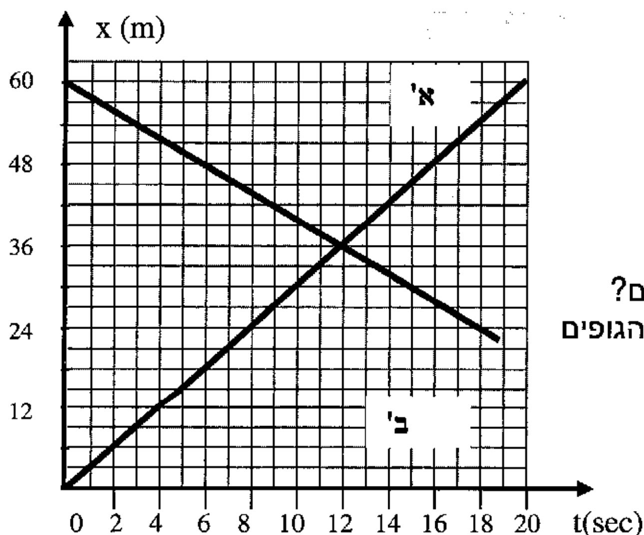
ב. האם הגופים נפגשים בדרכם? אם לא – נמק. אם כן - כמה זמן לאחר יציאת גוף ב' מתרחש המפגש? הסבר את תשובתך.

ג. רשום את משוואות תנועת הגופים.

ד. כמה זמן לאחר הפגישה מרחק בין הגופים שווה ל –9m?

(א. 1.1m/sec, 0.5m/sec . ב. כן, 10sec. ג. $x_1= 0.5t$, $x_2=1.1(t-12)$. ד. 15sec)

25. שני גופים נעים על קו ישר. הגרף מתאר את המרחקים של כל אחד משני הגופים מנקודה x=0 על הקו הישר כפונקציה של הזמן t.



א. מהי המהירות של כל אחד מהגופים?

ב. מתי והיכן ייפגשו שני הגופים?

ג. רשום את משוואות תנועת הגופים

(א. 3m/sec, -2m/sec ב. 12sec, 36m ג. $x_1= 3t$, $x_2=60-2t$)

פרק 4: תנועה מואצת

4.1 מהירות ממוצעת

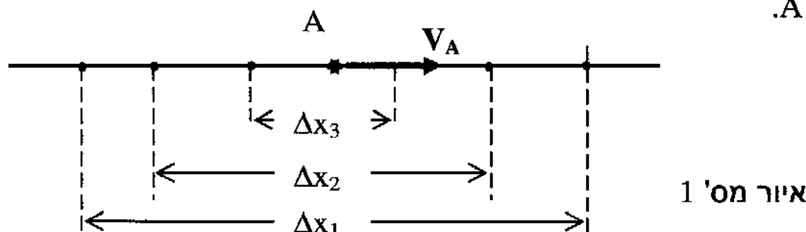
בחיי היום - יום אנו נתקלים בתנועה שאינה קצובה. למשל, תנועת מכונית מנקודה אחת לשנייה, תנועת אוטובוס בין תחנות ועוד. כאשר מהירות הגוף אינה קבועה, אנו **לא** יכולים להשתמש במשוואת תנועה קצובה כדי לחשב את מיקום הגוף. התוצאה של חילוק העתק הגוף במשך תנועתו אינה קבועה, ותלויה בפרק הזמן של תנועת הגוף. לכל פרק זמן יש ערך מהירות ממוצעת משלו. כדי לחשב את זמן התנועה או את ערך ההעתק, אנו מחליפים תנועה לא קצובה בתנועה עם מהירות קבועה. בהחלפה מקפידים על שמירת ערך ההעתק וזמן התנועה. נגדיר ערך פיסיקאלי חדש ששמו מהירות ממוצעת. מהירות ממוצעת של תנועה לא קצובה שווה למהירות של תנועה קצובה בה גוף עובר אותו המרחק ובאותו הזמן. את הערך המספרי של המהירות הממוצעת של תנועה לא קצובה לאורך ציר ה - x אנו מחשבים תוך שימוש בנוסחה:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

V_{av} – מהירות ממוצעת (m/sec)
Δx– העתקים שונים (m)
Δt- פרקי זמן שונים (sec)

4.2 תנועה מואצת. מהירות רגעית

תנועה שבה מהירות הגוף משתנה לאורך הזמן, נקראת תנועה מואצת. לערכים של מהירות משתנה קוראים בשם מהירות רגעית. מהירות רגעית היא מהירות הגוף ברגע מסוים, או בנקודה מסוימת. כדי להסביר את משמעותו של המושג, מהירות רגעית, ניקח ,קטע ממסלול התנועה הכולל את הנקודה A. נסמן ב - Δx_1 את אורך קטע המסלול הכולל את הנקודה ונחלק אותו בפרק הזמן Δt_1 של תנועתו. תוצאת החילוק, היא המהירות הממוצעת בקטע Δx_1. כמובן, המהירות הממוצעת בקטע Δx_1 שונה מהמהירות הרגעית בנקודה A. תוצאת החילוק של אורך הקטע Δx_2, שהוא קטן יותר, בפרק הזמן Δt_2, היא גם המהירות הממוצעת בקטע Δx_2. המהירות הממוצעת בקטע Δx_2 שונה מהמהירות הרגעית בנקודה A, אבל בפרק הזמן Δt_2 שהוא קטן יותר מ - Δt_1 ההבדל בין המהירות הממוצעת בקטע Δx_2 והמהירות הרגעית בנקודה A יהיה קטן יותר מאשר בקטע Δx_1. אם נמשיך להקטין את אורך הקטע המכיל את הנקודה A, עד שהוא הופך לנקודה, בסופו של דבר המהירות הממוצעת הופכת למהירות הרגעית בנקודה A.



איור מס' 1

על פי הגדרה מדויקת, המהירות הרגעית בנקודה A היא גבול שאליו שואפת המהירות הממוצעת בקטע המכיל את הנקודה A, כאשר פרק הזמן של התנועה שואף לאפס.

$$V_A = \lim \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \Delta t \to 0$$

שגיאה נפוצה מאוד בחישוב מהירות רגעית, היא שימוש בנוסחה לחישוב מהירות תנועה קצובה.

4.3 תאוצה

כדי להבין היטב את מושג התאוצה ננתח ערכים של תנועה מואצת המופיעים בטבלה הבאה:

t (sec)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
V(m/sec)	5	7	9	11	13	15	17	19	21
ΔV(m/sec)	-	2	2	2	2	2	2	2	-

בשורה הראשונה מופיעים הרגעים שבהם נמדדה מהירות הגוף, בשורה השנייה רשומים ערכים של המהירות שנמדדה, ובשורה השלישית מופיעות תוצאות חישוב - מהו שינוי המהירות במשך שנייה אחת. מתוך נתוני הטבלה קל להסיק את המסקנה, שבכל שנייה מהירות הגוף הולכת וגדלה ב – 2m/sec. במלים אחרות מקובל לומר, כי תאוצת הגוף בדוגמה שלמעלה היא 2m/sec בשנייה. תנועה בה בפרקי זמנים שונים חלים שינויי מהירות שווים נקראת **תנועה שוות תאוצה**. עתה, נביא דוגמה אחרת, בה מהירות הגוף הולכת וקטנה כמוראה בטבלה הבאה:

t (sec)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
V(m/sec)	34	31	28	25	22	19	16	13	10
ΔV(m/sec)		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	

תהליך בו מהירות הגוף הולכת וקטנה נקרא תאוטה, והתנועה היא תנועה מואטת או תנועה עם תאוצה שלילית. התאוטה בדוגמה שלנו היא - -3m/sec בשנייה. גם התנועה הזו היא תנועה שוות תאוצה.
באופן כללי אומרים, שהתאוצה מראה לנו את שינוי המהירות ביחידת זמן. על מנת לקבל נוסחה לחישוב תאוצת גוף, ניקח קטע מסוים של המסלול. את המהירות בתחילת הקטע וברגע t_0 אנו מסמנים ב – V_0 והיא מהירות ההתחלתית, המהירות בסוף הקטע הנבחר וברגע t – היא המהירות הסופית, ומסמנים אותה ב- V_t או ב – V.

התאוצה היא שינוי המהירות ביחידת זמן. סימן התאוצה הוא **a** והנוסחה היא:

v - מהירות סופית (m/sec)
v_0 - מהירות התחלתית (m/sec)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)
a - תאוצת הגוף (m/sec^2)

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

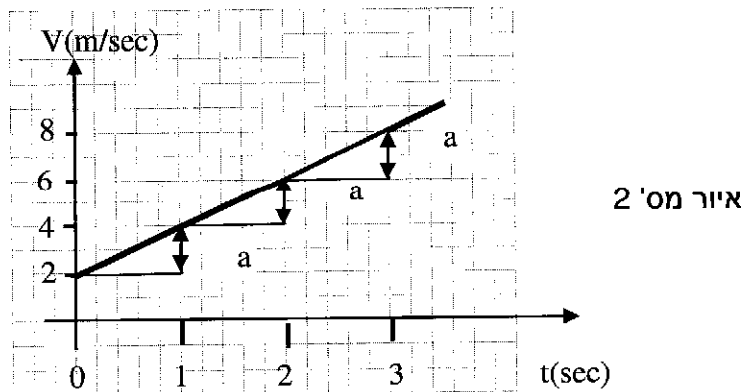
כאשר $t_0 = 0$ מקבלים נוסחה תאוצה פשוטה יותר:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

יחידת התאוצה היא - $1m/sec^2$.

לתאוצה יש כיוון במרחב, כלומר התאוצה היא וקטור. באופן כללי הכיוון של וקטור התאוצה מתלכד עם כיוון שינוי וקטור המהירות ולא עם כיוון המהירות עצמה. כאשר מהירות גוף הנע בקו ישר, הולכת וגדלה, וקטור התאוצה מכוון בכיוון תנועת הגוף, ולהיפך, כאשר מהירות הגוף הולכת וקטנה, וקטור התאוצה בכיוון הנגדי לכיוון וקטור מהירות הגוף. במקרה של תאוטה אומרים, שתאוצת הגוף היא שלילית. לא תמיד כאשר התאוצה שלילית התנועה היא בתאוטה. תאוצה שלילית מבטאת תנועה בתאוטה אך ורק כאשר כיווני המהירות והתאוצה מנוגדים זה לזה. במקרים בהם גם התאוצה וגם המהירות הן שליליות, הערך המספרי של מהירות הגוף הולך וגדל, ולא נכון לקרוא לתנועה הזו תנועה מואטת. ניתן לתאר תנועה כזו כתנועה מואצת בכיוון השלילי.

4.4 גרף מהירות תנועת שוות תאוצה



איור מס' 2

לפניך גרף מהירות המתאר תנועה שוות תאוצה (איור מס' 2). קל לראות, כי בכל שנייה מהירות גוף הנע הולכת וגדלה במידה שווה. שינוי נושא נוסחה של תאוצה נותן לנו נוסחה לחישוב מהירות רגעית.

בנוסחה לפני האות המייצגת תאוצה ולפני האות המייצגת מהירות התחלתית, רושמים סימן פלוס, כאשר הווקטורים של התאוצה והמהירות התחלתית בכיוון מהירות הגוף, וסימן מינוס, אם הווקטור של התאוצה והמהירות התחלתית בכיוון הנגדי לכיוון מהירות הגוף.

v - מהירות סופית (m/sec)
v_0 - מהירות התחלתית (m/sec)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)
a - תאוצת הגוף (m/sec^2)

$$V = \pm\ V_0 \pm a(t - t_0)$$

4.5 העתק של הגוף בתנועה שוות תאוצה בקו ישר

את הערך המספרי של העתק גוף, הנע לאורך קו ישר בתנועה שוות תאוצה, אנו מחשבים בעזרת הנוסחאות הבאות:

Δx - העתק (m)
v - מהירות סופית (m/sec)
v_0 - מהירות התחלתית (m/sec)
Δt - פרק זמן התנועה (sec)
a - תאוצת הגוף (m/sec^2)

$$\Delta x = \frac{v + v_0}{2}\Delta t$$

$$\Delta x = v_0\Delta t + \frac{a\Delta t^2}{2}$$

$$2a\Delta x = v^2 - v_0^2$$

במקרה בו $x_0 = 0$ ו - $t_0 = 0$ אנו מקבלים נוסחאות פשוטות יותר:

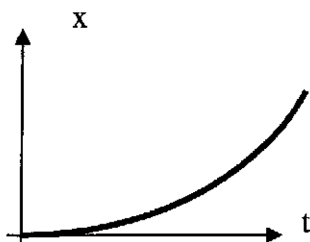
$$x = \frac{v + v_0}{2}t \qquad , x = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \qquad 2ax = v^2 - v_0^2$$

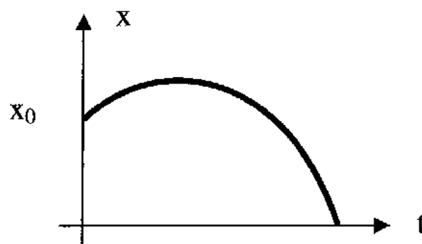
כאשר בכל משך תנועת הגוף המהירות התחלתית והתאוצה בכיוון החיובי של ציר ה - x, שלוש הנוסחאות שלמעלה מתאימות גם לחישוב הדרך שעבר הגוף.

4.6 גרפים של תנועה שוות תאוצה

נתחיל מניתוח גרף העתק תנועה שוות תאוצה כפונקציה של הזמן. הפונקציה היא ריבועית, כי בנוסחה מופיע פרק הזמן בריבוע. גרף של פונקציה ריבועית הוא פרבולה. איור מס' 3 מתאר גרף תנועה עם תאוצה בכיוון תנועת הגוף.

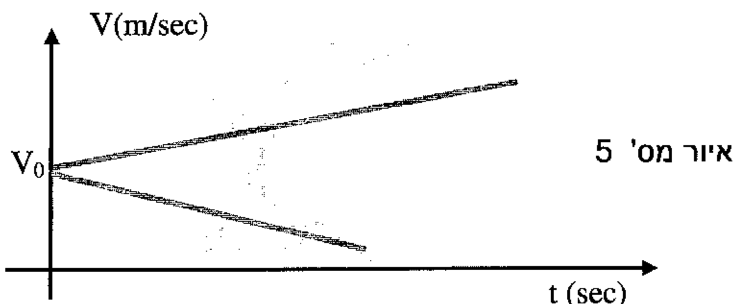
איור מס' 4 מתאר גרף תנועה עם תאוצה בכיוון נגדי לכיוון תנועת הגוף.





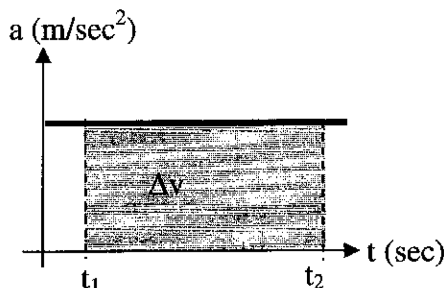
איור מס' 3 איור מס' 4

מהירות תנועה שוות תאוצה היא פונקציה קווית (ליניארית) של הזמן . עקב כך גרף מהירות תנועה שוות תאוצה כפונקציה של הזמן הוא תמיד קו ישר. איור מס' 5 מתאר גרף מהירות תנועה שוות תאוצה כפונקציה של הזמן. קו עולה הוא גרף של מהירות תנועה בה תאוצת הגוף בכוון המהירות התחלתית. קו יורד הוא גרף של מהירות תנועה בה תאוצת הגוף בכוון הנגדי לכיוון המהירות התחלתית.



איור מס' 5

שיפוע הגרף מייצג את הערך המספרי של תאוצת הגוף. ככל שהשיפוע גדול יותר, תאוצת הגוף גדולה יותר. איור מס' 6 מתאר גרף תאוצת תנועה שוות תאוצה כפונקציה של הזמן. הגרף הוא קו ישר המקביל לציר של הזמן, כי התאוצה היא קבועה.



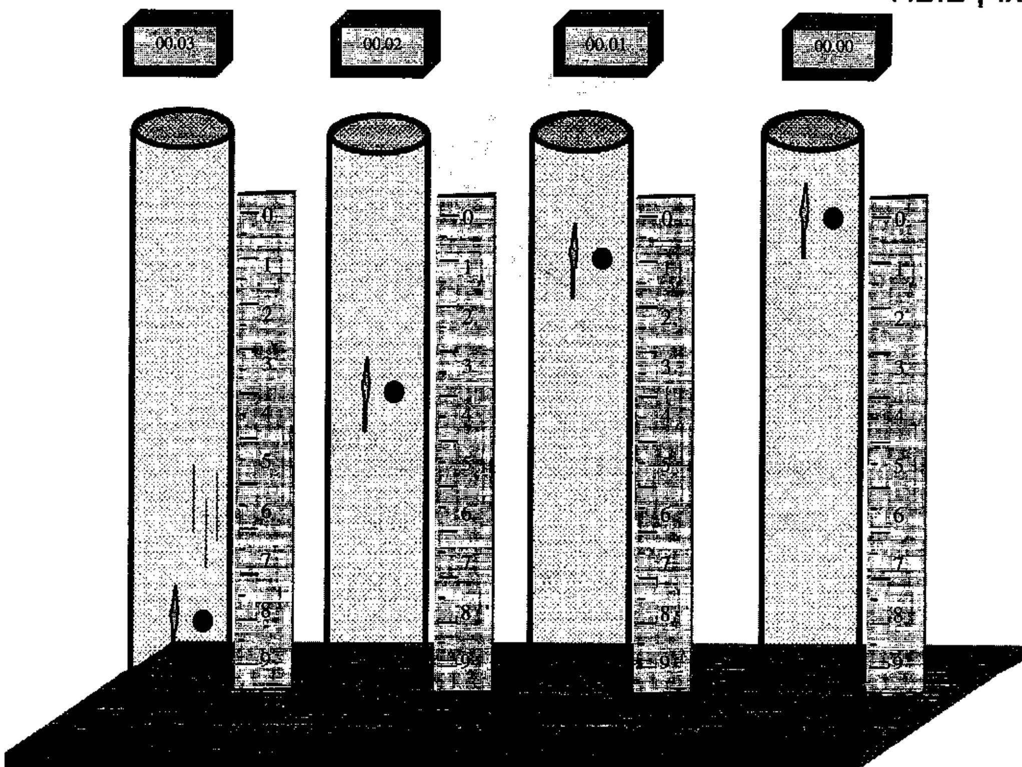
איור מס' 6

4.7 נפילה חופשית

מתוך ניסיון חיי היום - יום ידוע לנו, שגופים נמשכים ארצה. גוף הנשמט מהידיים, נופל מטה. כאשר שני גופים נופלים מאותו גובה, בדרך כלל, הגוף הכבד יותר הוא שיגיע ראשון ארצה. אבל בניסוי אחר עם נפילה של דף נייר וכדור עשוי מדף זהה מקומט רואים, שזמן הנפילה של הדף המקומט יהיה קטן יותר מאשר זמן הנפילה של הדף הישר. גם כדור שעשוי ממחצית הדף המקומט, ייפול מהר יותר מאשר הדף השלם למרות משקלו הכפול. המסקנה היא שבנפילת גופים ישנם גורמים אחרים, חוץ ממשקלם, המשפיעים על משך תנועתם. גם המהירות של נפילת גופים לא תלויה רק במשקל הגוף. בניסוי של נפילה פיסת נייר קטנה הנמצאת מעל פני המטבע, אנו רואים שהם נופלים ביחד. כדור באוויר נופל מהר מאשר במים. ההסבר הוא שמהירות הנפילה תלויה גם במשקל וגם בתנאי הנפילה. מהירות נפילת גופים תלויה בכוח התנגדות הסביבה שבה הם נופלים.

נשאלת השאלה, מה יקרה, כאשר על גופים בזמן נפילתם יפעל רק כוח אחד – כוח משיכה של כדור הארץ. תנועה מסוג זה נקראת נפילה חופשית.

על פי הגדרה, נפילה חופשית היא תנועת גופים בהשפעת כוח המשיכה של כדור הארץ בלבד.



איור מס' 7: מיקום של כדור ונוצה ברגעים שונים של נפילתם בתוך צינור שאין בו אוויר בפרקי זמנים שווים

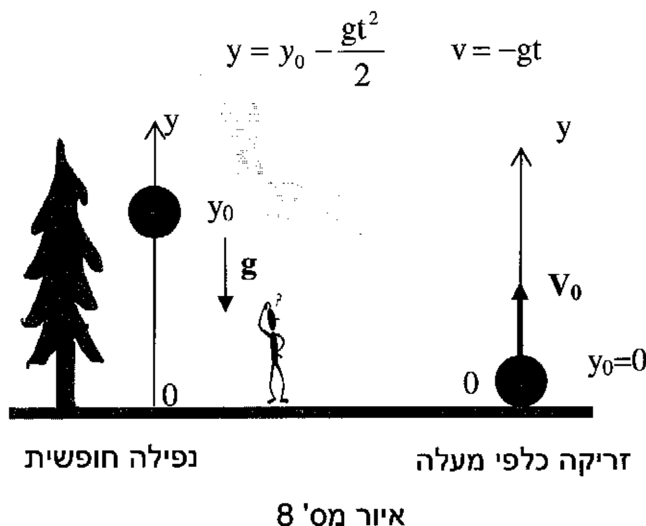
בניסויים של נפילה גופים בריק נתן לראות שכל הגופים נופלים ביחד באותה המהירות ללא תלות במשקלם. באחד הניסויים באמצעות משאבה הוצא רוב האוויר מצינור הזכוכית שבו היו כדור מתכת כבד ונוצה קלה. כאשר שמו את הצינור אנכית, ראו שהכדור והנוצה נעים יחד. את רוב הבעיות של תנועת גופים באוויר אנו פותרים בהנחה שהתנגדות האוויר זניחה.

נפילה חופשית היא תנועה שוות תאוצה שבה המהירות התחלתית של גוף שווה לאפס, $V_0 = 0$. כל הגופים על פני כדור הארץ, נופלים מטה בתאוצה זהה ששווה בערך $9.81 m/sec^2$. את תאוצת הנפילה החופשית מקובל לסמן באות **g**.

4.8 זריקה כלפי מעלה

נפילה חופשית היא מקרה פרטי של תנועת גוף בקו אנכי, או במלים אחרות, זריקת הגוף כלפי מעלה, או כלפי מטה. לפתרון בעיות של נפילה או זריקות בוחרים ציר אנכי, ציר ה- y שראשיתו, בדרך כלל, על פני הקרקע.הנקודה שממנה הגוף מתחיל ליפול או ממנה הוא נזרק היא - y_0. כאשר גוף נע רק מעלה או מטה, אין צורך בציר האופקי, ציר ה – x. אנו יכולים לחשב את המיקום ואת המהירות של גוף הנופל בנפילה חופשית בעזרת הנוסחאות הבאות:

$$y = y_0 - \frac{gt^2}{2} \qquad v = -gt$$



איור מס' 8

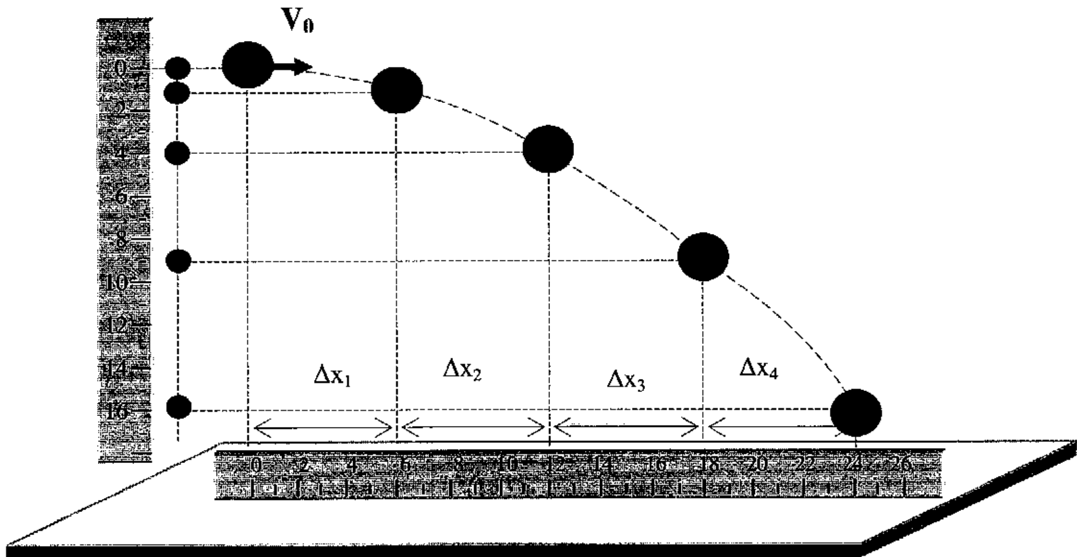
את המיקום והמהירות של גוף הנזרק כלפי מעלה, או כלפי מטה מחשבים בעזרת הנוסחאות הבאות:

$$y = y_0 \pm v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \qquad v = \pm v_0 - gt,$$

בנוסחה אנו נבחר סימן חיובי לפני מהירות בזריקה כלפי מעלה ו סימן שלילי בזריקה כלפי מטה. סימן המינוס לפני תאוצת הנפילה החופשית בא עקב בחירת כיוון מנוגד של ציר ה- y לכיוון ווקטור התאוצה – g.

4.9 זריקה אופקית

זריקה אופקית היא תנועת גוף הנמצא מעל פני כדור הארץ, כאשר כיוון וקטור מהירותו ההתחלתית מקביל לקרקע. תנועת הגוף בזריקה אופקית היא תנועה במישור. בפיתרון בעיות נוח לפרק את התנועה לשתי תנועות: אחת בכיוון האופקי והשנייה בכיוון האנכי. נתאר את הניסוי המוכיח ששתי התנועות האלו לא משפיעות אחת על השנייה.



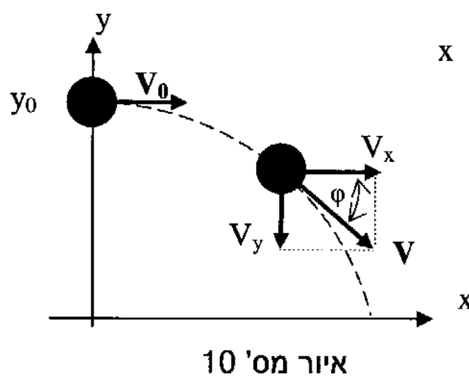
איור מס' 9: מסלול תנועה ומיקום הגוף הנזרק אופקית

באמצעות המצלמה צילמו בפרקי זמן השווים שני הגופים. הגוף הראשון נזרק אופקית במהירות התחלתית, והגוף השני נופל בנפילה חופשית מאותו הגובה. על פי התמונה ניתן לראות כי בכל רגע שני הגופים היו באותו גובה. מכאן שתנועה בכיוון האופקי לא משפיעה על נפילת גופים בכיוון האנכי. בנוסף לזה, המרחקים, שגוף השני עובר בכיוון האופקי בפרקי זמן שווים, שווים זה לזה. מכאן המסקנה - בכיוון האופקי במשך כל הזריקה האופקית כל הגופים נעים בתנועה שוות מהירות.

בפתרון בעיות של תנועת גופים הנזרקים אופקית, מקובל לבחור את ראשית הצירים על פני הקרקע בדיוק מעל נקודת הזריקה של הגוף. ציר ה – x בכיוון האופקי, וציר ה – y כלפי מטה. נסמן את המהירות ההתחלתית של הגוף הנזרק אופקית ב - V_0.

משוואות התנועה של גוף הנזרק אופקית הן:

$$x = v_0 t, \quad y = y_0 - \frac{gt^2}{2}$$



איור מס' 10

משוואת המסלול היא:

$$y - y_0 = \frac{gx^2}{2v_0^2}$$

בהמשך הלימודים נסביר איך ניתן לחשב את הערך המספרי של מהירות הגוף הנזרק אופקית מתוך שיקולי האנרגיה. כעת אנו יכולים לחשב את רכיבי המהירות ברגע מסוים בעזרת הנוסחה הבאה:

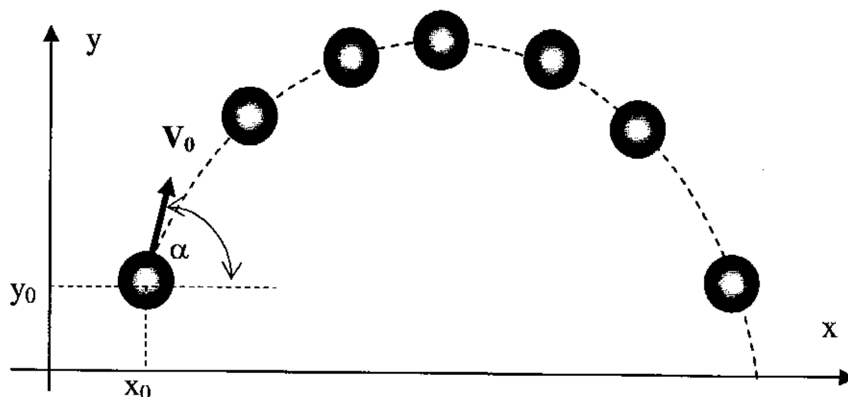
$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$$

זכור כי הרכיב האופקי של מהירות הגוף נשאר קבוע $v_x = v_0$ והרכיב האנכי משתנה עם הזמן $v_y = -gt$. את הזווית φ אנו מחשבים בעזרת הנוסחה:

$$\tan\varphi = v_y/v_x = -gt/v_0$$

4.10 זריקה משופעת

זריקה משופעת היא תנועת גוף, כאשר כיוון וקטור המהירות התחלתית הוא בזווית מסוימת כלפי הקו האופקי. בדומה לתנועת גוף הנזרק אופקית, גם בזריקה משופעת נוח לפרק את התנועה לשתי תנועות: אחת בכיוון האופקי והשנייה בכיוון האנכי. בכיוון האנכי תנועת הגוף היא כמו תנועתו של גוף הנזרק אנכית, ובכיוון האופקי במשך כל הזריקה המשופעת הגוף נע בתנועה שוות מהירות, כלומר, הגוף עובר בכיוון האופקי מרחקים שווים זה לזה בפרקי זמן שווים.



איור מס' 11: תנועת גוף הנזרק בזווית (זריקה משופעת)

במקרה כללי כאשר נקודת הזריקה היא לא ראשית הצירים, משוואות התנועה הן:

$$x(t) = x_0 + v_0 t \times \cos\alpha$$

$$y(t) = y_0 + v_0 t \times \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}$$

משוואת המסלול היא:

$$y = y_0 + (x - x_0)\,\tan\alpha - \frac{g(x - x_0)^2}{2v_0^2\cos^2\alpha}$$

במקרה שבו $x_0=0$ ו- $y_0=0$, לאחר הצבת שיעורי נקודת הפגיעה בקרקע $(x,0)$ במשוואה $y(t)$, מקבלים משוואה לחישוב זמן תנועת הגוף:

$$t = \frac{2v_0\sin\alpha}{g}$$

לאחר שנציב את הזמן במשוואה $x(t)$ נקבל נוסחה לחישוב טווח הזריקה, והצבת מחצית הזמן במשוואה $y(t)$ תיתן לנו נוסחה לחישוב גובה העלייה המרבי:

$$x = \frac{v_0^2\sin2\alpha}{g}; \qquad y_{max} = \frac{v_0^2}{2g}\sin^2\alpha$$

4.11 פתרון בעיות תנועה שוות תאוצה

אחת השיטות לפתרון בעיות תנועה היא שימוש במשוואות התנועה באופן דומה למה שהוסבר בפרק 2. הצורה הכללית של משוואת תנועה שוות תאוצה היא:

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{a(t - t_0)^2}{2}$$

כדי לקבל את משוואות התנועה של תנועה שוות תאוצה המתאימה לבעיה מסוימת חייבים להחליף במספרים את ארבע גדלים:

קואורדינאטה התחלתית	$x_0 = ?$
רגע התחלתי	$t_0 = ?$
מהירות התחלתית	$v_0 = ?$
תאוצה	$a = ?$

<u>דוגמה מס' 1</u>

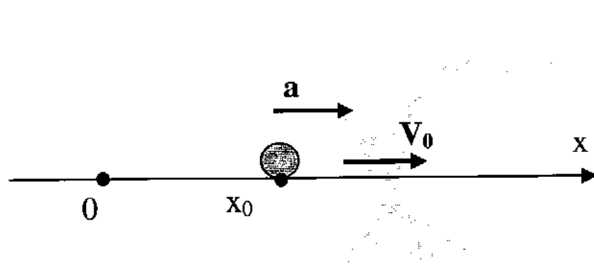
גוף נע במהירות של 5m/sec. ברגע $t_0 = 4sec$ הגוף, שהיה במרחק 20m מנקודת האפס של ציר התנועה – x, מתחיל לנוע בתאוצה קבועה של $1m/sec^2$ בכיוון התנועה.

א. רשום את משוואת תנועת הגוף.
ב. מצא את הקואורדינאטה שלו ברגע t = 7sec.
ג. מתי הגוף הגיע לנקודה x =120m?

פתרון:

על פי תנאי הבעיה רושמים את הנתונים:

$x_0 = 20m$.
$t_0 = 4sec$
$V_0 = 5m/sec$
$a = 1m/sec^2$
א. $x(t)$ - ?
ב. $t_1 = 7sec$ x_1-?
ג $x_2 = 120m$ t_2-?



השלב הבא הוא בנייה ציור סכימתי של הבעיה. נכוון את ציר ה – x בכיוון תנועת הגוף. נסמן באמצעות חצים את הכיוון של וקטורי המהירות ותאוצת הגוף.

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{a(t - t_0)^2}{2}$$

אחרי הצבה נתוני הבעיה במשוואות התנועה נקבל:

$$x = 20 + 5(t - 4) + 0.5(t - 4)^2$$

כדי למצוא את הקואורדינאטה של הגוף ברגע t = 7sec מציבים את הערך המספרי של הזמן לתוך משוואת התנועה.

$$x_1(7) = 20 + 5(7 - 4) + 0.5(7 - 4)^2 = 39.5m$$

על מנת למצוא את הרגע בו $x_2 = 120m$, מציבים במשוואת התנועה את הערך המספרי של הקואורדינאטה של הגוף.

$$x = 20 + 5(t - 4) + 0.5(t - 4)^2$$

קיבלנו משוואה ריבועית. $120 = 20+ 5(t-4)+0.5(t-4)^2$

הפתרון הוא : $t_1 = 14sec \quad t_2 = -16sec$

זמן תנועה מקבל רק ערכים חיוביים, לכן התשובה היא - $t = 14sec$.

בבעיות מסובכות יותר אנו מטפלים בתנועת מספר גופים הנעים לאורך אותו הקו. שאלות נפוצות הן:

א. היכן ומתי נפגשים הגופים?

ב. מהו המרחק ביניהם ברגע מסוים?

<u>דוגמה מס' 2</u>

שני גופים נעים לאורך קו ישר אחד לקראת השני. ברגע מסוים המרחק ביניהם 96m, ובאותו הרגע לגוף הראשון מהירות 6m/sec ותאוצתו $2m/sec^2$, ולגוף השני מהירות 2m/sec ותאוצתו $6m/sec^2$ בכיוון תנועתו.

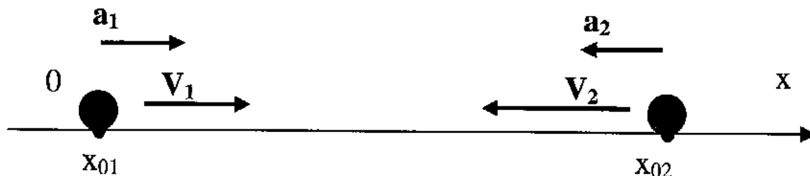
א. רשום את משוואות התנועה.

ב. היכן ומתי נפגשים הגופים?

ג. מהו המרחק ביניהם ברגע $t = 2sec$?

פתרון: רושמים את הנתונים

	הגוף הראשון	הגוף השני
	$x_{01} = 0$	$x_{02} = 96m$.
	$t_0 = 0$	$t_0 = 0$
	$V_{01} = 6m/sec$	$V_{02} = 2m/sec$
	$a_1 = 2\ m/sec^2$	$a_2 = 6m/sec^2$
א.	$x_1(t)=?$	$x_2(t)=?$
ב.	$t_{פגישה}=?$	$x_{פגישה}$
ג.	$\Delta x = ?$	$t_2 = 2sec$



בונים ציור סכימתי של הבעיה. נכוון את ציר ה – x בכיוון תנועת הגוף הראשון. נסמן באמצעות חצים את הכיוונים של וקטורי המהירויות ותאוצות הגופים.

אחרי הצבת הנתונים לתוך משוואת התנועה של שני הגופים מקבלים:

$$x_1 = 6t + t^2 \qquad x_2 = 96 - 2t - 3t^2$$

משמעות הפגישה: שני הגופים באותו הרגע נמצאים באותה הנקודה, כלומר הקואורדינטות שלהם שוות.

$$x_1(t) = x_2(t)$$

אחרי הצבה מקבלים משוואה ריבועית: $t^2 + 2t - 24 = 0$

פתרונות המשוואה: $t_1 = 4sec$ $t_2 = -6sec$

אין משמעות לזמן שלילי, לכן התשובה היא: $t_{\text{פגישה}} = 4sec$

למציאת את הקואורדינאטה של נקודת הפגישה מציבים את הערך המספרי של הזמן לתוך אחת ממשוואות התנועה (לא משנה באיזו משוואה).

$$x_1(4) = 6t + t^2 = 6\times4 + 16 = 40m$$

המרחק בין הגופים Δx שווה לערך מוחלט של הפרש בין הקואורדינאטות של הגופים.

$$\Delta x = |x_2(t) - x_1(t)|$$

לאחר הצבת נתונים, פתיחת סוגריים ועברת אגפים מקבלים את המשוואה לחישוב המרחק:

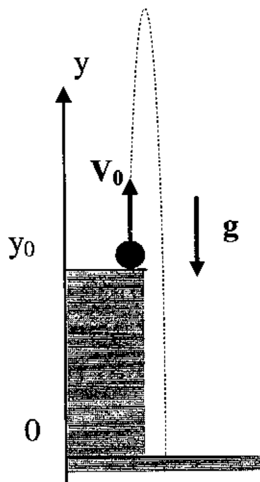
$$\Delta x = |96 - 2t - 3t^2 - 6t - t^2| = |96 - 8t - 4t^2|$$

התשובה $\Delta x(2) = 64m$

<u>דוגמה מס' 3</u>

גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 60m/sec ממגדל שגובהו 96m

א. רשום את משוואות התנועה.
ב. כמה זמן נמשכה העלייה?
ג. לאיזה גובה מרבי מגיע הגוף?
ד. כמה זמן נמשכה תנועת הגוף?
ה. מהי מהירות הפגיעה בקרקע?



נתון:
$y_0 = 96m$
$v_{0y} = 60m/sec$
$g_y = -9.81m/sec^2$
$t_0 = 0$

א. $y(t)$-?
ב. $t_{\text{ע}}$-?
ג. y_{max} - ?
ד. t -?
ה. V- ?

כמו בבעיות הקודמות בונים ציור סכימתי של הבעיה. נכוון את ציר ה – y כלפי מעלה. נסמן באמצעות חצים את הכיוונים של וקטורי המהירויות ותאוצות הגוף. רושמים את משוואות התנועה והמהירות:

$$y = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{g(t - t_0)^2}{2} \qquad V = V_0 + g(t - t_0)$$

לאחר הצבת הנתונים לתוך משוואת התנועה והמהירות של הגוף מקבלים:

$$y = 96 + 60t - 4.905t^2 \qquad v = 60 - 9.81t$$

את זמן העלייה נוח לחשב בעזרת משוואת המהירות, כי בנקודת השיא מהירות הגוף שווה לאפס.

$$v = 60 - 9.81t$$
$$0 = 60 - 9.81t_{\text{ע'}}$$
$$t_{\text{ע'}} = 6.17sec$$

את הגובה המרבי ניתן לחשב בשתי דרכים: על ידי הצבת זמן העלייה לתוך משוואת התנועה:

$$y_{max} = 96 + 60\times6.17 - 4.905\times6.17^2 = 279.49m$$

או בעזרת הנוסחה:

$$2g(y - y_0) = v^2 - v_o^2$$

$$y_{max} = 279.49m$$

את זמן התנועה נוח לחשב בעזרת משוואת התנועה, כי בנקודת הפגיעה $y=0$.

$$0 = 96 + 60t - 4.905t^2$$

לאחר פתרון המשוואה הריבועית מקבלים: $t = 13.66sec$

כדי לחשוב מהירות הפגיעה מציבים את זמן התנועה במשוואת המהירות:

$$v = 60 - 9.81\times 13.66 = -74m/sec$$

משמעותו של סימן המינוס – כיוון וקטור המהירות ברגע הפגיעה הוא כלפי מטה.

4.12 בעיות

מהירות ממוצעת

1. מכונית עברה מרחק של 300m במשך 20sec ועוד 400m במשך 30sec.
   א. מהי מהירות המכונית בקטע הראשון של תנועתה?
   ב. מהי מהירותו בקטע השני של תנועתה?
   ג. מהי המהירות הממוצעת?
   (א. V=15m/sec. ב. V= 13.33m/sec. ג. V=14m/sec)

2. גוף נע במהירות קבועה 10m/sec במשך 2min, ואחר כך במהירות קבועה אחרת 25m/sec במשך 4min.
   א. איזה המרחק הגוף עבר במשך 2min?
   ב. איזה המרחק הוא עבר במשך 4min הבאות?
   ג. מהי המהירות הממוצעת?
   (א. x=1200m. ב. x=6000m. ג. V=20m/sec)

3. מכונית עברה מרחק של 30km במהירות 90km/h, ואחר כך מהירותה הייתה 72km/h במשך רבע שעה.
   א. כמה זמן המכונית נעה במהירות 90km/h?
   ב. איזה המרחק המכונית עברה במהירות 72km/h?
   ג. מהי המהירות הממוצעת.
   (א. 20min. ב. 18000m. ג. 82.3km/h)

4. כלי רכב עבר שלושה קטעי דרך: את הקטע הראשון עבר במהירות קבועה של 25m/sec במשך 10sec, את הקטע השני שאורכו 100m עבר במהירות קבועה של 20m/sec ואת הקטע השלישי במשך 20sec.
   א. מהו אורך הקטע הראשון?
   ב. כמה זמן נע כלי הרכב בקטע השני?
   ג. המהירות הממוצעת בשלושת הקטעים היא 18m/sec. מהו אורך הקטע השלישי? (א. 250m, ב. 5sec, ג. 280m)

5. מכונית עברה מרחק בין שתי ערים במהירות 60km/h וחזרה באותה הדרך, במהירות שונה של 80km/h. מהי המהירות הממוצעת?
   (68.57km/h)

6. המהירות הממוצעת של כלי רכב היא 72km/h. הרכב נע בכיוון אחד במהירות 90km/h. מהי המהירות בה חזר לנקודת המוצא? (60km/h)

7. גוף עבר מרחק בין שתי נקודות במהירות V ועוד מרחק הגדול פי שלושה מהקודם, במהירות 1.5V. מהי המהירות הממוצעת? (1.33V)

תאוצה.מהירות. העתק

1. מהירות גוף השתנתה מ - 4m/sec ועד 10m/sec במשך 3sec. מהי תאוצת הגוף? ($a = 2m/sec^2$)

2. כדור הנע במהירות 4m/sec מואץ בתאוצה $0.3m/sec^2$ במשך 5sec. מהי מהירותו הסופית? ($V = 5.5m/sec$)

3. גוף הנע בתאוצה $10m/sec^2$ הגביר את מהירותו מ- 7m/sec עד 13m/sec. כמה זמן נע הגוף בתאוצה הזו? ($\Delta t = 0.6sec$)

4. גוף נע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$ במשך 4sec. בסוף תנועתו מהירותו 9m/sec. מהי המהירות ההתחלתית של הגוף? ($v =1m/sec$)

5. גוף נח מתחיל לנוע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$ ומגיע למהירות 9m/sec. כמה נמשכה התנועה? ($t = 4.5sec$)

6. גוף נח מתחיל לנוע בתאוצה קבועה של $0.03m/sec^2$, והוא נע בתאוצה זו במשך 2min. מהי המהירות הסופית שלו? ($v= 3.6m/sec$)

7. גוף הנע במהירות של 12m/sec מאט בתאוטה של $-5m/sec^2$. לאחר כמה זמן הגוף ייעצר? ($\Delta t =2.4sec$)

8. במשך 5sec מהירות גוף הנע בתנועה שוות תאוצה, השתנתה מ- 3m/sec עד 9m/sec. מהו העתק הגוף? ($\Delta x=30m$)

9. גוף במנוחה התחיל לנוע בתאוצה קבועה ועבר מרחק של 360m במשך 3min. מהי מהירותו הסופית? ($v= 4m/sec$)

10. גוף הנע בתנועה שוות תאוצה מגיע למהירות של 10m/sec ועבר מרחק של 60m במשך 5sec. מהי מהירותו ההתחלתית? ($v= 14m/sec$)

11. מהירותו של גוף הנע בתנועה שוות תאוצה, השתנתה מ- 2m/sec ל- 8m/sec ובפרק הזמן הזה הגוף עבר מרחק של 200m. כמה זמן נע הגוף? ($t=40sec$)

12. גוף הנע במהירות 4m/sec מואץ בתאוצה קבועה של $2.5m/sec^2$ במשך 5sec. מהו ההעתק הגוף? ($\Delta x=51.25m$)

13. גוף הנע במהירות 14m/sec מאט בתאוטה קבועה במשך 5sec. במשך זמן זה עבר הגוף מרחק של 57.5m. מהי תאוטת הגוף? ($a= -1m/sec^2$)

14. גוף הנע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$ עבר במשך 6sec מרחק של 36m. מהי מהירותו ההתחלתית? ($V_0=0$)

15. גוף הנע במהירות 4m/sec מואץ בתאוצה קבועה של $2.5m/sec^2$ ועבר מרחק של 13m. כמה זמן נע הגוף? ($\Delta t=2sec$)

16. מהירות גוף הנע בתאוצה קבועה של $5m/sec^2$, השתנתה מ- 3m/sec ל- 7m/sec. מהו העתק הגוף? ($\Delta x=4m$)

17. מהירות גוף הנע בתאוצה קבועה השתנתה מ- 2m/sec ל - 6m/sec. העתק הגוף 10m. מהי תאוצה הגוף? ($a=1.6m/sec^2$)

18. כדור, שנע במהירות 4m/sec, מואץ בתאוצה של $2.5m/sec^2$ ועבר מרחק של 48m. מה מהירותו הסופית? ($v= 16m/sec$)

19. גוף המאט בתאוטה של $5m/sec^2$ הגיעה לעצירה במרחק של 4.9m. מהי מהירותו ההתחלתית? ($v_0= 7m/sec$)

20. בתחילת התנועה מהירותו של כדור הייתה 0.5m/sec. כעבור 10sec של תנועה בתאוצה קבועה מהירות הכדור הייתה 12.5m/sec.
   א. מהי תאוצת הכדור?
   ב. מהו המרחק שהכדור עבר?
   (א. $a=1.2\ m/sec^2$. ב. $\Delta x=65m$)

21. מכונית, הנעה במהירות 25 m/sec, מתחילה להאט והגיעה לעצירה במרחק של 50m.
   א. מהי מהירותה הסופית של המכונית?
   ב. מהי תאוצתה של המכונית? (תאוטה?)
   ג. מהו משך זמן עצירת המכונית?
   (א. $v=0$. ב. $a=-6.25\ m/sec^2$. ג. $\Delta t=4sec$)

22. גוף המתחיל את תנועתו בתאוצה קבועה, עבר בשנייה הראשונה מרחק של 5m.
   א. מהי תאוצת הגוף?
   ב. מהי מהירות הגוף ברגע $t=4sec$?
   (א. $a=10m/sec^2$. ב. $v= 40m/sec$)

23. גוף, המתחיל את תנועתו בתאוצה קבועה, עבר בשנייה הראשונה מרחק של 1cm. בשנייה הבאה הוא עבר 2cm ובשנייה השלישית – 3cm. האם התנועה היא תנועה שוות תאוצה? (לא)

24. גוף, המתחיל לנוע בתאוצה קבועה, עבר קטע דרך ראשון, שאורכו 12m, במשך 4sec. בסוף קטע דרך שני מהירות הגוף הייתה 9m/sec. אורך קטע הדרך השלישי 81m.

א. מהי תאוצת הגוף?

ב. מהו האורך קטע הדרך השני?

ג. כמה זמן נמשכה תנועת הגוף בקטע הדרך השלישי?

ד. מהי מהירותו הממוצעת של הגוף?

(א. $a=1.5m/sec^2$. ב. $x=15m$. ג. $t=6sec$. ד. $v=9m/sec$)

25. מכונית, הנעה במהירות 10m/sec, מתחילה להאיץ בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$.

א. רשום את משוואת התנועה.

ב. איזה מרחק עברה המכונית במשך 10sec הראשונות של התנועה המואצת?

ג. כמה זמן דרוש למכונית כדי לעבור מרחק של 75m?

(א. $x=10t+t^2$. ב. $\Delta x=200m$. ג. $\Delta t=5sec$)

26. גוף מתחיל לנוע ממנוחה בתאוצה קבועה. במרחק 15m מראשית הצירים מהירותו הייתה 10m/sec, ובמרחק של 34.5m מראשית הצירים מהירותו שווה 16m/sec. מהי תאוצת הגוף? ($a=4m/sec^2$)

27. גוף, המתחיל לנוע ממנוחה בתאוצה קבועה, שינה את מהירותו ב - 2m/sec בקטע מסלול שאורכו 100m.

א. מהי תאוצת הגוף?

ב. רשום את משוואת התנועה.

ג. מהו השינוי במהירות הגוף בקטע הדרך הבא שאורכו גם שווה ל – 100m?

(א. $a=0.02m/sec^2$. ב. $x=0.01t^2$. ג. $\Delta v=0.83m/sec$)

28. מכונית עברה מרחק של 150m במשך 20sec, ובזמן הזה מהירותה גדלה פי 4.

א. מהי המהירות ההתחלתית והסופית של המכונית?

ב. מהי תאוצת המכונית?

(א. $v_0=3m/sec$. ב. $a=0.45m/sec^2$)

29. מהירות גוף, הנע בתאוצה קבועה, השתנתה מ- 7m/sec למהירות 15m/sec לאחר 4sec שהתחיל להאיץ.

א. מהי תאוצת הגוף?

ב. איזה מרחק עבר הגוף במשך 4sec?

ג. מהי מהירות הגוף במרחק 30m מנקודת היציאה?

(א. $a=2m/sec^2$. ב. $\Delta x=44m$. ג. $v=13m/sec$)

30. משוואת התנועה של גוף $x_1 = 120 + 5t - 2t^2$.
א. מהו סוג התנועה?
ב. מהן המהירות ההתחלתית והתאוצה של הגוף?
ג. מהן קואורדינאטת הגוף ומהירותו ברגע $t = 10sec$?
(א. תנועה שוות תאוצה. ב. $v_0 = 5m/sec$, $a = -4m/sec^2$. ג. $x = -30m$,
$v = -35m/sec$)

31. משוואות התנועה של שתי מכוניות הן $x_1 = 20 + 25t + 2t^2$ ו - $x_2 = 40 + 15t - t^2$.
א. מהן המהירויות ההתחלתיות והתאוצות של כל אחת מהמכוניות?
ב. מתי והיכן המכוניות תפגשנה?
ג. מהן מהירויות המכוניות בנקודת המפגש?
ד. מהו המרחק בין המכונית ברגע $t = 5sec$?
(א. $a_1 = 4m/sec^2$, $a_2 = -2m/sec^2$, $v_{01} = 25m/sec$, $v_{02} = 15m/sec$.
ב. $t = 1.41sec$, $x = 59.16m$. ג. $v_1 = 30.64m/s$, $v_2 = 12.18m/s$ ד. $\Delta x = 105m$)

32. שני כלי רכב יצאו בו זמנית בכיוון זהה משתי נקודות, הנמצאות במרחק 40m זו מזו. מהירות הראשון 8m/sec ותאוצתו $2m/sec^2$. מהירות השני 14m/sec.
א. רשום את משוואות התנועה.
ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?
ג. מתי כלי הרכב היו במרחק 20m זה מזה?
ד. מהו המרחק בין כלי הרכב 20sec מתחילת התנועה?
(א. $x_1 = 8t + t^2$, $x_2 = 40 + 14t$. ב. $x = 180m$, $t = 10sec$.
ג. $t_1 = 8.39sec$, $t_2 = 11.31sec$. ד. $\Delta x = 240m$)

33. שני כלי רכב יצאו בו זמנית בכיוון אחד משתי נקודות הנמצאות במרחק 50m זו מזו. מהירות הראשון 12m/sec ותאוצתו $0.4m/sec^2$. מהירות השני 8m/sec ותאוצתו $0.2m/sec^2$.
א. רשום את משוואות התנועה.
ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?
ג. מתי כלי הרכב היו במרחק 90m זה מזה?
ד. מהו המרחק בין כלי הרכב 30sec לאחר מתחילת התנועה?
(א. $x_1 = 12t + 0.2t^2$, $x_2 = 50 + 8t + 0.1t^2$
ב. $t = 10sec$, $x = 140m$, ג. $t = 22.43sec$. ד. $\Delta x = 160m$)

34. שני כלי רכב יוצאים בכיוון אחד משתי נקודות הנמצאות במרחק 26m זו מזו. מהירות הראשון 12m/sec ותאוצתו $1m/sec^2$. מהירות השני 10m/sec ותאוצתו $0.2m/sec^2$. כלי הרכב הראשון יצא לדרך 6sec לאחר יציאתו של השני.
א. רשום את משוואות התנועה.
ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?
ג. מהו המרחק בין כלי הרכב 30sec לאחר תחילת התנועה הרכב השני?
(א. $x_1 = 12(t-6) + 0.5(t-6)^2$, $x_2 = 26 + 10t + 0.1t^2$. ב. $t = 20sec$, $x = 266m$,
ג. $\Delta x = 160m$)

35. שני כלי רכב יוצאים זה לקראת זה משתי נקודות הנמצאות במרחק 201.6m זו מזו. מהירות הראשון 20m/sec, ותאוצתו $1m/sec^2$. מהירות השני 10m/sec, ותאוצתו $0.2m/sec^2$.

א. רשום את משוואות התנועה.

ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?

ג. מהו מרחק בין כלי הרכב כעבור 10sec מתחילת התנועה?

(א. $x_1= 20t+0.5t^2$, $x_2= 201.6-10t- 0.1t^2$. ב. $x =138m$, $t = 6sec$.

ג. $\Delta x =158.4m$)

36. שני כלי רכב יוצאים זה לקראת זה משתי נקודות הנמצאות במרחק 300m זו מזו. מהירות הראשון 10m/sec, ותאוצתו $0.4m/sec^2$. מהירות השני 16m/sec, ותאוצתו $-0.6m/sec^2$.

א. רשום את משוואות התנועה.

ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?

ג. מהו המרחק בין כלי הרכב כעבור 10sec מתחילת התנועה?

(א. $x_1= 10t+0.2t^2$, $x_2= 300-16t+ 0.3t^2$. ב. $x =150.28m$, $t = 12.1sec$.

ג. $\Delta x =50m$)

37. שני כלי רכב יוצאים זה לקראת זה משתי נקודות, הנמצאות במרחק 500m זו מזו. מהירות הראשון 10m/sec, ותאוצתו $0.8m/sec^2$. מהירות השני 18m/sec, ותאוצתו $-0.2m/sec^2$. כלי הרכב הראשון יצא לדרך 4sec לאחר יציאת השני.

א. רשום את משוואות התנועה.

ב. מתי והיכן כלי הרכב נפגשים?

ג. מהו המרחק בין כלי הרכב כעבור 10sec מתחילת התנועה?

(א. $x_1= 10(t-4)+0.4(t-4)^2$, $x_2= 500-18t+ 0.1t^2$. ב. $x =212.44m$, $t = 17.72sec$.

ג. $\Delta x =255.6m$)

38. גוף, היוצא מנקודה מסוימת במהירות 12m/sec, עבר מרחק של 30m, ואחר כך מתחיל לנוע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$.

א. מהי קואורדינטת הגוף ברגע t=6sec לאחר תחילת התנועה?

ב. מהי מהירות הגוף ברגע t = 9ses לאחר תחילת תנועה?

ג. מתי היה הגוף במרחק 104.25m מנקודת היציאה?

(א. $x = 84.25m$.ב. $v= 25m/sec$. ג. $t=7sec$.)

39. מכונית מתחילה לנוע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$ ונעה בתאוצה זו במשך 10sec. אחר כך היא ממשיכה לנוע במהירות קבועה במשך 30sec, ולבסוף מאטה בתאוטה קבועה של $5m/sec^2$ עד לעצירתה.

א. סרטט גרף המתאר את מהירות המכונית כפונקציה של הזמן.

ב. חשב את המרחק הכולל שהמכונית עברה. ($x= 740m$)

40. גוף מתחיל לנוע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$, ונע במשך 10sec. אחר כך הוא ממשיך את תנועתו בתאוצה קבועה שלילית של $-2m/sec^2$.

א. איזה מרחק הגוף עבר במשך 10sec מתחילה התנועה המואצת?

ב. מהי מהירות הגוף ברגע t=10sec?

ג. כעבור כמה זמן מתחילת התנועה חזר הגוף לנקודת היציאה?

(א. x = 100m. ב. v= 20m/sec. ג. t=34.1sec)

41. גוף, הנע במהירות של 2m/sec, מתחיל לנוע בתאוצה של $2m/sec^2$. לאחר 10sec יצא מאותה הנקודה ובאותו הכיוון גוף שני במהירות של5m/sec. מהו המרחק המינימאלי (הקטן ביותר) בין הגופים? ($\Delta x_{min} = 27.5m$)

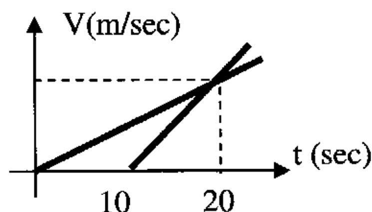
42. גוף הנע בתנועה שוות תאוצה עבר שני קטעי דרך. את הקטע הראשון, שאורכו 75m, עבר במשך 5sec, ואת הקטע הבא, שאורכו 24m, עבר במשך 4sec. מהי המהירות ההתחלתית של הגוף ומהי תאוצתו? (v_0= 20m/sec , a= $-2m/sec^2$)

43. גוף, הנע בתנועה שוות תאוצה, עבר שני קטעי דרך: קטע, שאורכו 28m, עבר במשך 2sec, וקטע נוסף, שאורכו 80m, מהירותו הסופית הייתה 24m/sec.

א. מהי תאוצת הגוף?

ב. מהי מהירותו ההתחלתית של הגוף?

(א. a= $2m/sec^2$. ב. v_0= 12m/sec)



44. בציור הבא מתוארים גרפי המהירויות של שני גופים, שיצאו מאותה הנקודה ונעו לאורך אותו הקו. כמה זמן מרגע יציאת הגוף הראשון הם נפגשים?

(t=34.14sec)

45. הגרף שלפניך מתאר את המהירות של מכונית כפונקציה של הזמן.

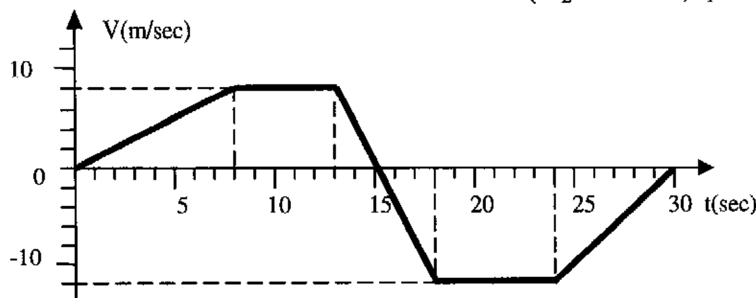
א. תאר במלים את אופי תנועת המכונית בפרקי הזמן השונים.

ב. מצא את התאוצות שהיו למכונית בפרקי הזמן השונים של תנועתה.

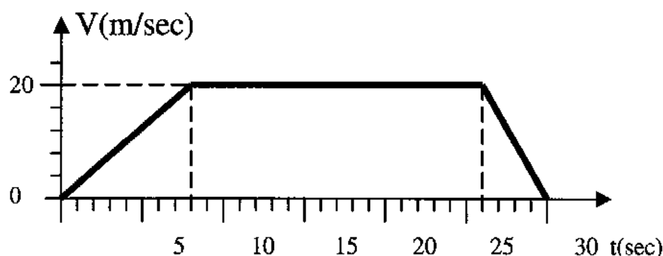
ג. חשב את הקואורדינטה של המכונית בזמנים: t_1= 17sec, t_2 = 30sec. (x_0=0).

(ב. a_1= $1m/sec^2$, a_2=0, a_3= $-4m/sec^2$, a_4=0, a_5= $2m/sec^2$.

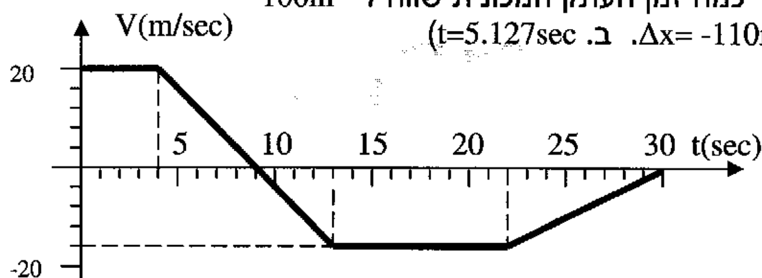
ג. x_1= 72m, x_2= - 46m)



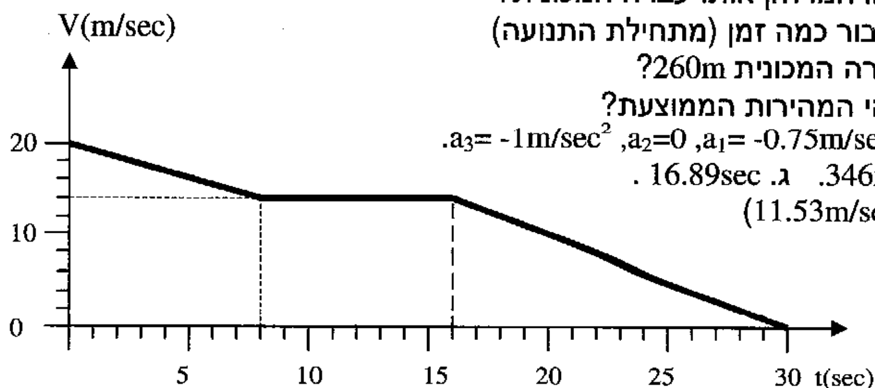
46. הגרף לפניך מתאר את המהירות V של מכונית, כפונקציה של הזמן t .
א. מצא התאוצות שהיו למכונית בפרקי הזמן השונים של תנועתה.
ב. מהי מהירות ממוצעת במשך 30sec ?
ג. מהו העתק המכונית?
ד. כעבור כמה זמן עברה המכונית 260m ?
(א. $a_1= 2.5m/sec^2$, $a_2=0$, $a_3= -5m/sec^2$. ב. 16m/sec. ג. 480m. ד. t=17sec)



47. הגרף שלפניך מתאר את המהירות V של מכונית, כפונקציה של הזמן t.
א. מהו העתק המכונית?
ב. כעבור כמה זמן העתק המכונית שווה ל - 100m?
(א. $\Delta x= -110m$. ב. t=5.127sec)



48. הגרף שלפניך מתאר את המהירות V של מכונית, כפונקציה של הזמן t שחלף מתחילת תנועתה ועד עצירתה.
א. מצא על פי הגרף, את התאוצות שהיו למכונית בפרקי הזמן השונים של תנועתה.
ב. מהו המרחק אותו עברה המכונית?
ג. כעבור כמה זמן (מתחילת התנועה) עברה המכונית 260m?
ד. מהי המהירות הממוצעת?
(א. $a_1= -0.75m/sec^2$, $a_2=0$, $a_3= -1m/sec^2$.
ב. 346m. ג. 16.89sec.
ד. 11.53m/sec)



49. גוף נע במהירות קבועה של 14m/sec במשך 5sec, ואחר כך במשך 7sec הבאות הוא נעצר.

א. מהו תאוצת העצירה?

ב. איזה מרחק עבר הגוף במשך 10sec הראשונות של תנועתו?

ג. מהי המהירות ממוצעת של הגוף?

ד. מהי מהירות הגוף במרחק 80m מנקודת המוצא?

(א. $a = -2m/sec^2$ ב. 115m ג. 9.92m/sec ד. 12.49 m/sec)

50. אדם רץ לכיוון תחנת האוטובוס במהירות 5m/sec. ברגע בו הוא היה במרחק 20m מהתחנה, האוטובוס התחיל לנוע בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$.

א. מהי מהירות האוטובוס ברגע t = 4sec?

ב. מהו המרחק בין האדם לבין האוטובוס ברגע t = 4sec?

ג. מהו המרחק המינימאלי בין האדם לבין האוטובוס?

(א. $8m/sec^2$ ב. 16m. ג. 13.75m)

51. שוטר תנועה, הנוסע על אופנוע, התחיל את תנועתו ברגע בו מכונית פרטית, שחלפה לידו במהירות 16/sec, הייתה במרחק 80m ממנו. תאוצה האופנוע - $2m/sec^2$.

א. חשב את הזמן הדרוש לשוטר כדי לעקוף את המכונית ואת המרחק שהוא עבר עד לעקיפה.

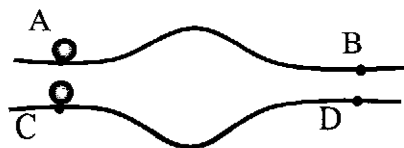
ב. מהי מהירות האופנוע ברגע בו השוטר עקף את המכונית?

ג. השוטר המשיך את תנועתו באותה התאוצה. מתי הוא הקדים את המכונית ב - 81m?

ד. ברגע מסוים, כאשר השוטר עדיין היה אחרי המכונית, המרחק ביניהם מגיע לערך המרבי. מהו המרחק ומהי מהירות האופנוע ברגע הזה?

(א. t >20sec, x=400m ב. 40m/sec ג. t = 23sec ד. t =8sec, Δx =144m)

52. שני כדורים זהים מתחילים לנוע בו זמנית במסלולים המתוארים באיור הבא. המהירויות של שניהם בנקודות A ו - B שוות.



א. האם הם מגיעים בו זמנית גם לנקודות C ו - D? נמק.

ב. האם גם המהירויות שוות? נמק.

(א. לא בהכרח. ב. כן)

נפילה חופשית וזריקות

1. גוף הנופל נפילה חופשית מגיע לקרקע כעבור 5sec. מאיזה גובה הוא נופל? (122.63m)

2. גוף נופל נפילה חופשית מגובה 80m. מהו משך זמן נפילתו? (4.04sec)

3. גוף, הנופל נפילה חופשית, מגיע לקרקע כעבור 5sec.
מהי המהירות שבה הוא פגע בקרקע? (-49.05m/sec)

4. גוף נופל נפילה חופשית מגובה 12m.
מהי המהירות שבה הוא פגע בקרקע? (-15.34m/sec)

5. גוף, הנופל נפילה חופשית, עבר בשנייה האחרונה של נפילתו רבע מהגובה ההתחלתי.
א. מהו הגובה ממנו הוא נפל?
ב. כמה זמן נמשכה הנפילה?
(א. 272.83m. ב. 7.46sec)

6. גוף נופל נפילה חופשית. כעבור פרק זמן מסוים מתחילת הנפילה גוף אחר מתחיל לפול. כעבור 3sec מרגע תחילת תנועת הגוף השני, המרחק בין הגופים היה 78.48m. מהו הפרש הזמנים בין תחילת התנועה של שני הגופים? (2sec)

7. גוף הנופל נפילה חופשית מגיע לקרקע במהירות של 10m/sec.
א. כמה זמן נמשכה הנפילה?
ב. מאיזה גובה הגוף נפל?
(א. Δt=1.02sec. ב. y_0=5.10m)

8. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 49.1m/sec. כמה זמן נמשכה עלייתו? (5sec)

9. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 30m/sec. כמה זמן נמשכה העלייה? (3.06sec)

10. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 20m/sec. כעבור כמה זמן הוא חזר לנקודת הזריקה? (4.08sec)

11. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 30m/sec. לאיזה גובה מרבי הוא יגיע? (45.87m)

12. גוף נזרק כלפי מעלה ומגיע לגובה מרבי של 25m. מהי מהירות הזריקה? (22.15m/sec)

13. גוף נזרק כלפי מעלה וחוזר לנקודת הזריקה במהירות 18m/sec.
א. כמה זמן נמשכה תנועתו?
ב. לאיזה גובה מרבי הוא יגיע?
ג. מהי מהירות הגוף בגובה 9.5m מעל נקודת הזריקה?
(א. $\Delta t = 3.67sec$. ב. 16.51m. ג. 11.73m/sec)

14. גוף, שנזרק כלפי מעלה מגג בניין, היה בגובה 110.38m מעל הקרקע 2sec לאחר רגע הזריקה, ובגובה 157.375m מעל הקרקע 5sec לאחר רגע הזריקה.
א. מהו גובה הבניין?
ב. מהי מהירות הזריקה?
(א. 30m. ב. 50m/sec)

15. גוף נזרק כלפי מטה ממגדל שגובהו 40m במהירות של 60m/sec.
א. כמה זמן נמשכה תנועת הגוף?
ב. מהי המהירות שבה פגע הגוף בקרקע?
(א. $\Delta t = 0.63sec$. ב. -66.22m/sec)

16. גוף נזרק כלפי מעלה ממגדל שגובהו 30m במהירות של 20m/sec.
א. כמה זמן נמשכה תנועת הגוף?
ב. לאיזה גובה מרבי הוא יגיע?
ג. מהי מהירות הגוף בגובה של 10m מעל נקודת הזריקה?
ד. מהי המהירות שבה הוא פגע בקרקע?
(א. $\Delta t = 5.24sec$. ב. 50.39m. ג. 14.28m/sec. ד. -31.44m/sec)

17. גוף נזרק כלפי מטה ממגדל שגובהו 10m במהירות 15m/sec.
כמה זמן נמשכה הנפילה? (0.56sec)

18. גוף נזרק ממגדל כלפי מטה במהירות 15m/sec, ומגיע לקרקע כעבור 5sec.
א. מהו גובה המגדל?
ב. מהי המהירות שבה הוא פגע בקרקע?
(א. 197.5m. ב. -64.05m/sec)

19. כדור פורח מתחיל לעלות מהקרקע בתאוצה של $0.8m/sec^2$. כעבור 20sec מתחילת תנועה הכדור, נפלה מסל הכדור אבן.
א. לאחר כמה זמן תגיע האבן ארצה?
ב. מהי מהירות פגיעת האבן בקרקע?
(א. t=7.57sec. ב. -58.26m/sec)

20. משתי נקודות שונות זורקים בו-זמנית שני גופים כלפי מעלה. גוף "א" נזרק מהקרקע במהירות 40m/sec, וגוף "ב" נזרק מגובה 30m במהירות של 20m/sec.

א. לאיזה גובה מרבי מגיע גוף "ב" ?

ב. כמה זמן נמשכה העלייה של גוף "א"?

ג. מהי המהירות בה גוף "ב" יפגע בקרקע?

ד. מהו המרחק בין הגופים 2sec לאחר הזריקה?

(א. 50.39m. ב. 4.08sec. ג. -31.44m/sec. ד. 10m)

21. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות 50m/sec. כעבור 3sec נזרק גוף שני מאותה הנקודה גם במהירות של 50m/sec.

א. מתי נפגשו הגופים?

ב. באיזה גובה נפגשים הגופים?

(א. t=6.60sec. ב. 116.34m)

22. גוף נזרק כלפי מעלה ממגדל שגובהו 20m במהירות 60m/sec. כעבור 2sec נזרק גוף שני כלפי מעלה מפני הקרקע במהירות 100m/sec.

מתי נפגשו הגופים?

ב. באיזה גובה נפגשו הגופים?

(א. t=4.019sec. ב. 181.91m)

23. גוף נזרק אופקית במהירות 30m/sec ממגדל שגובהו 20m.

א. כמה זמן נמשכה תנועתו?

ב. מהו המרחק שעבר בכיוון האופקי?

(א. 2.02sec. ב. 60.58m)

24. גוף, שנזרק אופקית ממגדל שגובהו 45m, נפל לקרקע במרחק של 27m מרגלי המגדל.

א. כמה זמן נמשכה תנועתו?

ב. מהי מהירות הזריקה?

(א. 3.03sec. ב. 8.91m/sec)

25. גוף נזרק אופקית מגובה 7m במהירות 10m/sec.

א. מהו משך זמן תנועתו?

ב. איזה מרחק אופקי עבר הגוף?

ג. מהי מהירות הפגיעה בקרקע?

(א. 1.195sec. ב. 11.95m. ג. 15.41m/sec)

26. גוף נזרק בכיוון האופקי במהירות 10m/sec על מישור משופע, שזווית הנטייה שלו 40^0, ופגע במישור במרחק 30m מנקודת הזריקה.

א. מהו משך זמן תנועת הגוף?

ב. מהי מהירות הזריקה?

(א. 3.08sec. ב. 12.70m/sec)

27. גוף, שנזרק אופקית, היה בגובה 37.82m ובמרחק אופקי של 20m מנקודת הזריקה ולאחר מכן בגובה 31.28m ובמרחק אופקי של 40m מנקודת הזריקה. מהם הגובה ההתחלתי ומהירות הזריקה?
(v_0=30m/sec . y_0=40m)

28. גוף נופל נפילה חופשית ממגדל שגובהו 180m.
א. מהי המהירות שבה הגוף פגע בקרקע?
ב. ברגע בו מתחילה נפילת הגוף הראשון, זורקים כלפי מעלה גוף השני. שני הגופים נפגשים בגובה 100m. מהי מהירות הזריקה של הגוף השני?
(א. 59.43m/sec. ב. 44.57m/sec)

29. מעלית מתחילה לעלות בתאוצה קבועה של $2m/sec^2$. באותו הרגע זורקים כלפי מעלה מרצפת המעלית גוף קטן. מהירות הזריקה 1.2m/sec.
א. כמה זמן נמשכה עליית הגוף?
ב. לאיזה גובה מרבי מעל רצפת המעלית עולה הגוף?
ג. כעבור כמה זמן הגוף פגע ברצפת המעלית?
(א. 0.12sec. ב. 0.06m. ג. 0.2sec)

30. גוף נזרק בזווית כלשהי מעל האופק ומגיע לגובה מרבי של 6m במרחק של 30m מנקודת הזריקה.
א. מהי זווית הזריקה?
ב. מהי מהירות הזריקה?
(א. 21.87^0. ב. 29.12m/sec)

31. גוף נזרק בזווית 35^0 מעל האופק ומגיע לקרקע במרחק 51m מנקודת הזריקה.
א. מהו משך זמן תנועת הגוף?
ב. מהי מהירות הזריקה?
ג. מהו הגובה המרבי אליו מגיע הגוף?
(א. 2.70sec. ב. 23.07m/sec. ג. 8.92m)

32. גוף נזרק במהירות של 23m/sec בזווית 30^0 ביחס לאופק.
א. מהו משך זמן תנועת הגוף?
ב. מהו המרחק שהגוף עבר בכיוון האופקי?
ג. לאיזה גובה מרבי יגיע הגוף?
(א. 2.34sec. ב. 46.70m. ג.6.74m)

33. גוף, שנזרק במהירות מסוימת ובזווית 45^0 ביחס לאופק, פגע בקרקע 30m מנקודת הזריקה.
א. מהי מהירות הזריקה?
ב. כמה זמן נמשכה תנועת הגוף?
ג. לאיזה גובה מרבי הגוף יגיע?
(א. 17.16m/sec, ב. 2.47sec, ג. 7.50m)

34. גוף נזרק במהירות מסוימת ובזווית מסוימת יחסית לאופק, כך שהגובה המרבי שווה לטווח הזריקה. מהי זווית הזריקה? (75.96^0)

35. גוף נזרק בזווית מסוימת לאופק. מהי זווית הזריקה, שבה טווח הזריקה יהיה מכסימלי? (45^0)

36. גוף נזרק במהירות מסוימת ובזווית 35^0 ביחס לאופק ומגיע לגובה מרבי של 17m. מהי מהירות הזריקה? (31.84m/sec)

37. גוף, שנזרק במהירות מסוימת ובזווית 25^0 מעל האופק, פגע בקרקע במרחק 30m מנקודת הזריקה. מהי מהירות הזריקה? (19.6m/sec)

38. גוף נזרק במהירות 40m/sec ובזווית 30^0 ביחס לאופק.
א. מהי מהירות הגוף בשיא הגובה?
ב. מהי מהירות הגוף בגובה 10m מעל נקודת הזריקה?
(א. $v = 34.64m/sec$. ב. $v= 37.47m/sec$)

39. גוף נזרק במהירות 20m/sec ובזווית של 50^0 ביחס לאופק. לאחר כמה זמן בפעם הראשונה מהירותו תהיה בזווית 30^0 לאופק? (0.81sec)

40. שני אנשים משחקים בכדור. הכדור נע באוויר מאחד לשני תוך 1.4sec. מהו הגובה המרבי אליו יגיע הכדור? (2.40m)

41. גוף, שנזרק בזריקה משופעת, פגע בקרקע במהירות 20m/sec. המהירות המרבית שלו גדולה פי 4 מהמהירות המינימאלית.
א. מהי זווית הזריקה?
ב. מהו הגובה המרבי?
(א. $\alpha = 75.52^0$. ב. $h = 19.11m$)

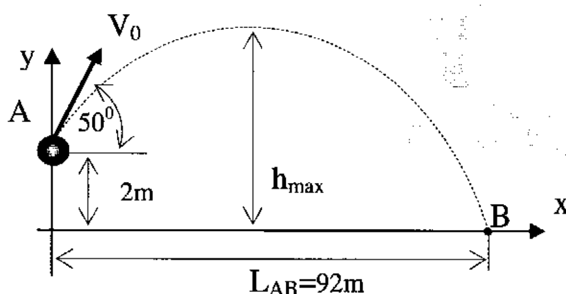
42. גוף נזרק בזריקה משופעת במהירות 20m/sec, כעבור 1sec מהירות הגוף הייתה 11.61m/sec.
א. לאיזה גובה מרבי יגיע הגוף?
ב. מהי זווית הזריקה?
(א. $h=11.96m$, $h=12.48m$, ב. $\alpha =67.15^0$)

43. ילד בועט בכדור וכתוצאה מכך הכדור מגיע לגובה מרבי של 6m מעל הקרקע במרחק 10m מנקודת הבעיטה.
א. מהי מהירות הבעיטה (גודל וכיוון)?
ב. כמה זמן נע הכדור עד לפגיעה בקרקע?
(א. $v = 14.12m/sec$, $\alpha = 50.19^0$. ב. $t = 2.21sec$)

44. רוכב אופנוע, המבצע קפיצה באוויר, מגיע לגובה מרבי של 2m. ברגע הקפיצה מהירותו הייתה בזווית 30^0 מעל האופק.
א. מהו משך זמן תנועתו?
ב. מהי מהירות הקפיצה?
ג. מהו טווח הקפיצה?
(א. $t = 1.28sec$. ב. $v = 12.53m/sec$. ג. $x = 13.86m$)

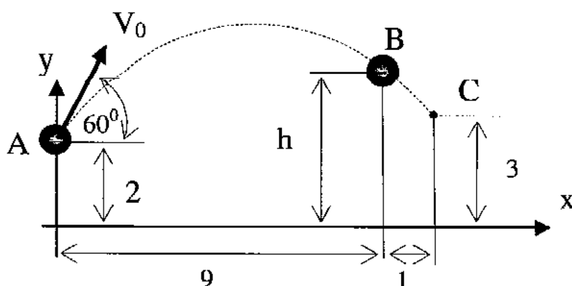
45. גוף, שנזרק בזריקה משופעת במהירות 20m/sec ובזווית 50^0 מעל האופק, פגע בקרקע במרחק 60m בכיוון האופקי מנקודת הזריקה.
מהו גובה נקודת הזריקה? (35.34m)

46. בתרשים מתואר מסלול תנועה של כדור הנזרק בזווית 50^0 מעל האופק.
א. מהו פרק הזמן t_{AB}?
ב. מהי מהירות הזריקה?
ג. מהו הגובה המרבי h_{max}?

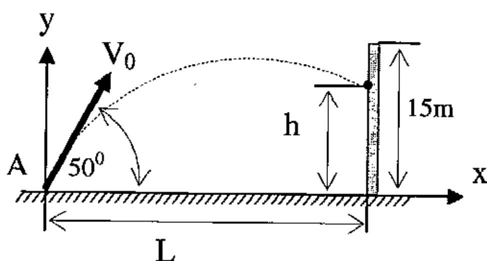


(א. $t = 4.77sec$. ב. $v = 30m/sec$. ג. $h_{max} = 28.92m$)

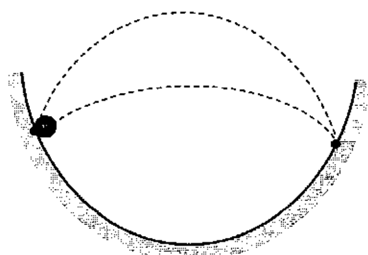
47. בתרשים מתואר מסלול תנועתו של כדור, הנזרק בזווית 60^0 מעל האופק.
א. מהי מהירות הזריקה?
ב. מהו פרק הזמן t_{AB}?
ג. מהו גובה הנקודה B?



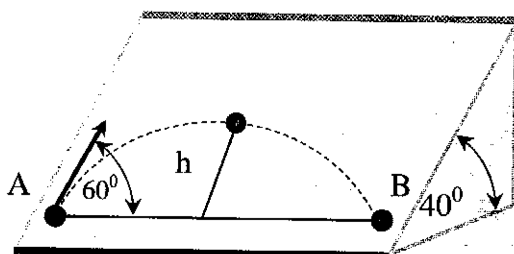
(א. $v_0 = 10.96m/sec$. ב. $t = 1.64sec$. ג. $y = 4.37m$)



48. כדור, שנזרק מהקרקע במהירות 20m/sec ובזווית 50^0 לאופק, פגע בקיר הנמצא במרחק L=25.71m מנקודת הזריקה.
א. כמה זמן נע הכדור?
ב. באיזה גובה הכדור פגע בקיר?
ג. מהי המהירות המיני מלית בה הכדור יעבור מעל הקיר?
(א. 2sec. ב. 11.02m. ג. 22.40m/sec)

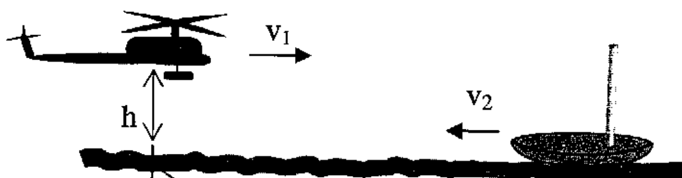


49. כדור קטן קופץ בתוך קערה כדורית. משך התנועה בכיוון אחד 4sec ובחזרה 2.5sec. נקודות הפגיעה נמצאות באותו הגובה.
א. מהו המרחק האופקי בין נקודות הפגיעה?
ב. מהו רדיוס הקערה?
(א. 5.72m. ב. R =5.03m)



50. כדור קטן נזרק במהירות v_0=3m/sec על פני מישור משופע כמתואר בתרשים.
א. מהו המרחק AB?
ב. מהו הגובה h?
(א. 1.04m ב. 0.45m)

51. מסוק טס בטיסה אופקית בגובה 100m מעל פני הים במהירות 180km/h לקראת ספינה הנעה במהירות 54km/h. בשלב מסוים משחרר טייס המסוק חפץ כדי שייפול בדיוק על סיפון הספינה.
א. מהו יהיה המרחק האופקי בין המסוק לבין הספינה בעת שחרור החפץ?
ב. מהו יהיה המרחק האופקי בין המסוק לבין הספינה בעת פגיעת החפץ על הסיפון?
ג. באיזו מהירות יחסית לפני הים יפגע החפץ בספינה?



(א. 293.49m. ב. 0m. ג. -66.78m/sec)

52. טיל מתחיל לעלות מפני הקרקע בתאוצה קבועה של $10.19 m/sec^2$. באותו הרגע מתותח הנמצא במרחק 800m מהטיל, נורה פגז, שמטרתו לפגוע בטיל. הפגז נשלח בזווית 60^0 לאופק.

א. לאחר כמה זמן פגע הפגז בטיל?

ב. מהי המהירות שבה נורה הפגז?

(א. t=11.77sec ב. v_0=135.94m/sec)

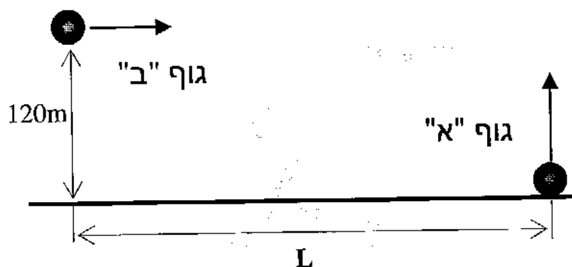
53. משתי נקודות שונות זורקים שני גופים בו-זמנית. גוף "א" נזרק כלפי מעלה במהירות 30m/sec וגוף "ב" נזרק בכיוון אופקי מגובה 120m ובמהירות של 20m/sec.

א. איזה מרחק עבר גוף "ב" בכיוון האופקי במשך 4sec?

ב. כמה זמן נמשכה העלייה של גוף "א"?

ג. מהו המרחק ההתחלתי L בין הגופים, אם ברגע בו גוף "ב" ייפגע בגוף "א" הגופים יהיו בגובה 40m? (ראה את התרשים שלמטה)

(א. 80m. ב. 3.06sec. ג. 57.11m)



54. ברגע בו טנק, הנע לכיוון תותח, היה במרחק 1790.21m מהתותח, התותח ירה פגז כלפי הטנק במהירות 400m/sec. הפגז פגע בטנק. זווית הירייה 3^0.

א. מהו המרחק בין הטנק והתותח ברגע בו הפגז פגע בטנק?

ב. מהו הגובה המרבי של הפגז מעל פני הקרקע?

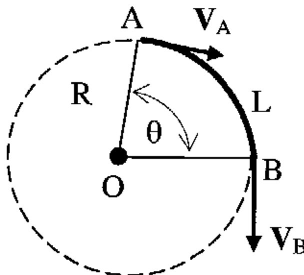
ג. מהי מהירות הטנק?

(א. 1705.66m . ב. 22.34m. ג. 19.8 m/sec)

פרק 5: תנועה מעגלית

5.1 זווית הפנייה/זווית הסיבוב

תנועה מעגלית היא תנועת גוף במסלול, שהוא מעגל, או חלק ממנו. כאשר גוף נע במסלול מעגלי, הרדיוס, המחבר את מרכז המעגל עם הנקודה בה נמצא הגוף, יוצר זווית מסוימת עם הרדיוס שמחבר את מרכז המעגל עם הנקודה ההתחלתית. זווית זו היא זווית מרכזית בין שני רדיוסים המתחברים עם הנקודה הנעה בזמנים השונים. זווית זו מסומנת באות θ. (ראה איור מס' 1)



איור מס' 1

את קואורדינאטת הזווית מחשבים בעזרת הנוסחה:

$$\theta = \frac{L}{R}$$

θ - זווית (rad)

L - אורך הקשת AB (m)

R - רדיוס מסלול התנועה (m)

את הקואורדינאטה הזוויתית מודדים ברדיאנים ולא במעלות. הסיבה לכך היא שזווית של מעלה אחת קטנה יחסית. אנו מגדרים רדיאן אחד כזווית המרכזית, שאורך הקשת שלה שווה לרדיוס. בסיבוב אחד שלם נקודה, הנמצאת על היקף המעגל, מבצעת סיבוב השווה ל - 2π רדיאן (.rad).

$$L = R \quad \text{אם} \quad \theta = 1\text{rad}$$

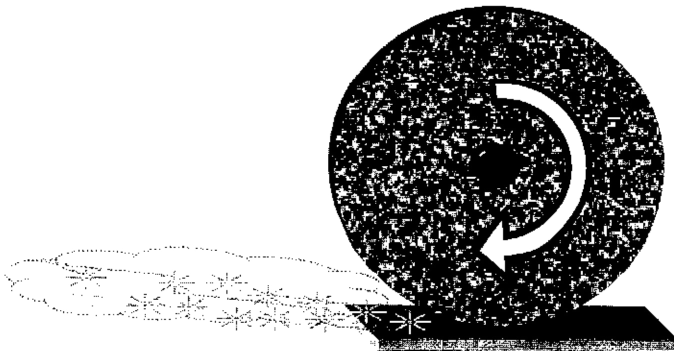
בדומה למהירות של תנועה בקו ישר, אנו מגדרים מהירות משיקית (קווית) של גוף, הנע בתנועה מעגלית, כיחס בין אורך הקשת לבין זמן התנועה. מקור השם של המהירות המשיקית במלה משיק, כי כיוון המהירות המשיקית **תמיד** לאורך המשיק בנקודה ההשקה. (ראה איור מס' 1). באיור מס' 2 מצוירת אבן משחזת, שהניצוצות שלה נעים בכיוון המשיק לאבן. הסימן של המהירות הקווית הוא **V**. את המהירות הקווית מחשבים באמצעות הנוסחה הבאה:

$$v = \frac{L}{\Delta t}$$

v - מהירות קווית (m/sec)

L - אורך הקשת (m)

$\Delta t = t - t$ - פרק זמן התנועה (sec)



איור מס' 2

5.2 מהירות זוויתית

קצב שינוי הערך המספרי של זווית הסיבוב של גוף, הנע בתנועה מעגלית, נקרא מהירות זוויתית. בדומה לתנועה בקו ישר, מגדירים את מהירות הזווית כזווית הסיבוב של רדיוס ביחידת זמן. את המהירות הזוויתית מסמנים באות היוונית ω. כאשר גוף מבצע אותו מספר סיבובים בפירקי זמן שווים, המהירות זוויתית קבועה. הנוסחה לחישוב מהירות זוויתית קבועה היא:

ω - מהירות זוויתית (rad/sec)
θ- זווית הסיבוב (rad)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)

$$\omega = \frac{\theta}{\Delta t}$$

כאשר מודדים את זווית הסיבוב ברדיאן, היחידה של המהירות הזוויתית היא 1רדיאן לשנייה, 1rad/sec. הקשר בין המהירות קווית לבין המהירות הזוויתית נתון על ידי הנוסחה הבאה:

V - מהירות קווית (m/sec)
ω - מהירות זוויתית (rad/sec)
R - רדיוס המעגל (m)

$$v = \omega \cdot R$$

5.3 זמן המחזור ותדירות

תנועה מעגלית היא תנועה מחזורית. לאחר שהגוף משלים סיבוב אחד, תנועתו חוזרת על עצמה. את מספר הסיבובים שביצע הגוף במשך פרק הזמן - Δt מסמנים באות – N. פרק הזמן, הדרוש לגוף כדי להשלים סיבוב אחד, נקרא **זמן מחזור**, והוא מסומן באות - T. את זמן המחזור מודדים בשניות, וניתן לחשבו בעזרת הנוסחה:

T- זמן המחזור (sec)
Δt - פרק הזמן (sec)
N - מספר סיבובים

$$T = \frac{\Delta t}{N}$$

תדירות תנועה מעגלית מוגדרת כמספר הסיבובים השלמים שמבצע הגוף ביחידת זמן, וסימנה - f. בתחומים אחרים של פיסיקה לסימון תדירות משתמשים גם באות v (ניו). הנוסחה לחישוב התדירות היא:

f - תדירות (Hz)
Δt - פרק הזמן (sec)
N - מספר הסיבובים

$$f = \frac{N}{\Delta t}$$

כאשר יחידת הזמן היא שנייה אחת, יחידת התדירות היא - הרץ אחד. 1Hz = 1הרץ היא תדירות שבה גוף, הנע במסלול מעגלי, עושה סיבוב אחד בשנייה אחת. הקשר בין התדירות לבין זמן המחזור נתון בנוסחה הבאה:

$f = \frac{1}{T}$

f- תדירות (Hz)
T- זמן המחזור (sec)

משמעות הנוסחה היא שהתדירות הפכית לזמן המחזור.

5.4 מהירות זוויתית, זמן מחזור ותדירות

זווית הסיבוב של גוף, המשלים סיבוב אחד, שווה ל - 2π. הזמן הדרוש לגוף כדי להשלים סיבוב אחד, הוא זמן המחזור. לאחר הצבה בנוסחה לחישוב המהירות הזוויתית מקבלים את הקשר בין המהירות הזוויתית לבין זמן המחזור. עקב כך את המהירות הזוויתית אנו יכולים לחשב גם בעזרת הנוסחה:

$$\omega = \frac{\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$$

כאשר נחליף את זמן המחזור בתדירות נקבל את הנוסחה הבאה:

$$\omega = 2\pi f$$

ניתן גם לפתח נוסחאות המקשרות בין המהירות הקווית לבין זמן המחזור או התדירות:

$$V = 2\pi Rf = \frac{2\pi R}{T}$$

בחיי היום-יום תדירות מוגדרת כמספר הסיבובים לדקה, ומקובל לסמן אותה באות - **n**. יחידה שימושית של תדירות היא 1סל"ד, שפירושה סיבוב אחד לדקה. על פי ההגדרה הקשר בין תדירות בסל"ד לבין תדירות בהרץ נתון על ידי הנוסחה:

$$n = 60 \cdot f$$

n – תדירות (סל"ד)
f – תדירות (Hz)

5.5 תאוצה זוויתית

כאשר מהירותו של גוף, הנע בתנועה מעגלית, לא קבועה ומשתנה עם משך הזמן, אומרים שקיימת **תאוצה זוויתית**. מקובל לסמן אותה באות היוונית α (אלפא). בדומה לתאוצה של תנועה בקו ישר, מגדירים את התאוצה הזוויתית כשינוי המהירות הזוויתית ביחידת זמן. תאוצה זוויתית מחשבים בעזרת הנוסחה:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}$$

α - תאוצה זוויתית (rad/sec^2)
ω - מהירות זוויתית סופית (rad/sec)
ω_0 - מהירות זוויתית התחלתית (rad/sec)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)

היחידה של התאוצה הזוויתית היא 1רדיאן/שנייה^2.

דרך שינוי נושא הנוסחה שלמעלה מקבלים נוסחה לחישוב המהירות הזוויתית הרגעית:

$$\omega = \omega_0 + \alpha(t - t_0)$$

הקשר בין תאוצה משיקית לבין התאוצה הזוויתית נתון בנוסחה הבאה:

a_τ - תאוצה משיקית (m/sec^2)
α - תאוצה זוויתית (rad/sec^2)
R – רדיוס המעגל (m)

$$a_\tau = \alpha \times R$$

5.6 חישוב זווית הסיבוב בתנועה מעגלית

תנועה בה התאוצה הזוויתית נשארת קבועה, נקראת תנועה שוות תאוצה זוויתית. את זווית הסיבוב של תנועה זו אנו מחשבים באמצעות נוסחאות דומות לחישוב ההעתק בתנועה שוות תאוצה בקו ישר. (ראה הפרק בנושא תנועה מואצת).

θ - זווית הסיבוב (rad)
θ_0 - זווית ברגע התחלתי (rad)
α - תאוצה זוויתית (rad/sec^2)
ω - מהירות זוויתית סופית (rad/sec)
ω_0 - מהירות זוויתית התחלתית (rad/sec)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)
$\Delta\theta = \theta - \theta_0$ - שינוי הזווית (rad)

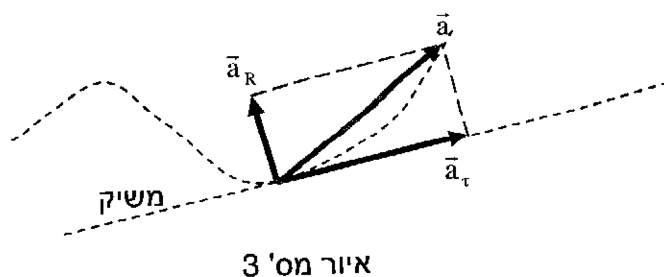
$$\theta = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{\alpha(t - t_0)^2}{2}$$

$$\theta = \theta_0 + \frac{\omega + \omega_0}{2}\Delta t$$

$$2\alpha\Delta\theta = \omega^2 - \omega_0^2$$

5.7 תאוצה כללית בתנועה מעגלית

כאשר גוף נע בקו עקום, את תאוצת הגוף ניתן לפרק לשני רכיבים: רכיב בכיוון המשיק למסלולו, תאוצה משיקית, שסימנה $\mathbf{a_\tau}$, ורכיב המאונך למשיק, תאוצה רדיאלית, שסימנה $\mathbf{a_R}$. רכיב התאוצה שבכיוון המשיק למסלול נוצר עקב שינוי מספרי של המהירות. הרכיב הרדיאלי, הוא הרכיב בכיוון המאונך למשיק, נוצר עקב שינוי הכיוון של המהירות.



איור מס' 3

לגוף, הנע בתנועה מעגלית כאשר ערך המהירות הוא קבוע, קיים רק רכיב תאוצה אחד, הרכיב הרדיאלי של התאוצה, שנקרא גם **תאוצה צנטריפטלית**.

התאוצה הצנטריפטלית גורמת אך ורק לשינוי כיוון המהירות המשיקית. שם התאוצה הרדיאלית בא לציין את העובדה, שכיוונה תמיד לאורך הרדיוס וכלפי מרכז המעגל (איור מס' 4).

הנוסחה לחישוב תאוצה צנטריפטלית היא:

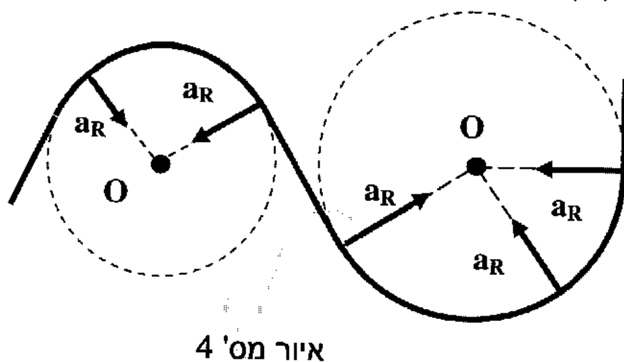
$$a_R = \frac{v^2}{R}$$

a_R - תאוצה רדיאלית (צנטריפטלית) (m/sec^2)
ω - מהירות זוויתית (rad/sec)
R - רדיוס המעגל (m)

נוסחה אחרת לחישוב תאוצה צנטריפטלית היא:

$$a_R = \omega^2 R$$

v - מהירות קווית (m/sec)
r - רדיוס המעגל (m)



איור מס' 4

נוסחה לחישוב רכיב a_τ, **תאוצה משיקית**, זהה לנוסחה לחישוב תאוצת תנועה בקו ישר:

$$a_\tau = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

v - מהירות סופית (m/sec)
v_0 - מהירות התחלתית (m/sec)
$\Delta t = t - t_0$ - פרק זמן התנועה (sec)
a_τ - תאוצת משיקית (m/sec^2)

הקשר בין התאוצה המשיקית והתאוצה הזוויתית של נקודה, הנעה בתנועה מעגלית, נתון על ידי הנוסחה הבאה:

$$a_\tau = \alpha R$$

a_τ - תאוצה משיקית (m/sec^2)
α - תאוצה זוויתית (rad/sec^2)
R – רדיוס המסלול (m)

על פי משפט פיתגורס, התאוצה הכללית היא:

$$a = \sqrt{a_R^2 + a_\tau^2}$$

5.8 בעיות

1. נקודה, הנעה במסלול מעגלי, עברה מרחק של 40cm. רדיוס המעגל הוא 25cm. מהי זווית הסיבוב? (1.6rad)

2. זווית הסיבוב של נקודה, הנעה במסלול מעגלי, היא 3rad. רדיוס המעגל 12cm. מהי הדרך שעברה הנקודה? (36cm)

3. גוף, הנע במסלול מעגלי, עבר מרחק 40cm. זווית הסיבוב שלו היא 2rad. מהו רדיוס המעגל? (20cm)

4. זווית הסיבוב של נקודה הנמצאת על גלגל המסתובב היא 20rad. הנקודה הייתה בתנועה במשך 5sec. מהי המהירות הזוויתית של הנקודה? (4rad /sec)

5. מהירות זוויתית של נקודה הנמצאת על גלגל מסתובב היא 2rad/sec. מהי זווית הסיבוב של הנקודה כעבור 8sec? (16rad)

6. מהירות זוויתית של גלגל מסתובב 12rad /sec. כעבור כמה זמן זווית הסיבוב שלו תהיה שווה ל - 60rad? (5sec)

7. מהירות קווית של נקודה נמצאת על היקף גלגל מסתובב היא 24rad /sec. מהי המהירות הזוויתית של הנקודה, אם רדיוס הגלגל הוא 2m? (ω=12rad/sec)

8. שתי נקודות נמצאות על גלגל מסתובב. האחת במרחק 10cm, והשנייה במרחק 25cm מציר הסיבוב. הנקודה השנייה עברה מרחק של 5cm.
מהו מרחק שעברה הנקודה הראשונה? (12.5cm)

9. כדור קטן הקשור בחוט נע במסלול מעגלי. במשך 20sec הכדור עובר מרחק 30m.
   א. מהי המהירות הקווית שלו?
   ב. מהי המהירות הזוויתית, אם זווית הסיבוב היא 50rad ?
   (א. V=1.5m/sec . ב. ω=2.5rad/sec)

10. מהירות קווית של נקודה, הנמצאת על היקף גלגל מסתובב, 4m/sec. איזה דרך עברה הנקודה במשך 15sec? (60m)

11. מהירות קווית של נקודה, הנמצאת על היקף גלגל מסתובב, 24m/sec. מהו רדיוס הגלגל, אם המהירות הזוויתית של הנקודה ω=48rad/sec ? (0.5m)

12. כדור קטן הקשור בחוט מסתובב במעגל על פני מישור אופקי. במשך 10sec השלים 4 סיבובים. מהם זמן המחזור והתדירות? (T= 2.5sec , f =0.4Hz)

13.זמן המחזור של גלגל מסתובב הוא 0.2sec. מהי תדירותו? ($f = 5Hz$)

14.תדירותו של גלגל מסתובב 15Hz. מהי תדירותו בסל"ד? (סל"ד $n = 900$)

15.תדירותו של גלגל מסתובב סל"ד$n = 3000$. מהי תדירותו בהרץ? ($f=50Hz$)

16.תדירותו של גלגל מסתובב היא 5Hz. מהי מהירותו הזוויתית?($\omega=31.42rad/sec$)

17.זמן המחזור של גלגל מסתובב 2sec. מהי מהירותו הזוויתית? ($\omega=3.14rad/sec$)

18.זמן מחזור של גלגל מסתובב 2sec, ורדיוס הגלגל 20cm. מהי מהירותו הקווית? ($\omega=6.28rad/sec$)

19.מהירות זוויתית של גלגל מסתובב $\omega=3rad/sec$. מהו זמן המחזור? ($T=2.09sec$)

20.גוף נע במסלול מעגלי שרדיוסו 100m. מהירות הגוף היא 20m/sec. מהי התאוצה הצנטריפטלית? ($a_R = 4m/sec^2$)

21.מהירות קווית של נקודה, הנמצאת על היקף גלגל מסתובב, 2m/sec, והתאוצה צנטריפטלית שלה היא $4m/sec^2$. מהו רדיוס הגלגל ? ($R=1m$)

22.תאוצה צנטריפטלית של נקודה, הנמצאת על היקף גלגל מסתובב, $4m/sec^2$. רדיוס הגלגל $R=0.25m$. מהי מהירותה הקווית? ($V = 1m/sec$)

23.כדור קטן, קשור בחוט שאורכו 0.5m, נע במסלול מעגלי בתדירות של 5Hz. מהי התאוצה הצנטריפטלית? ($a_R = 493.48m/sec^2$)

24.גוף קטן נמצא על תקליט מסתובב במרחק 0.1m מציר הסיבוב. זמן המחזור של התקליט 0.25sec. מהי התאוצה הצנטריפטלית? ($a_R = 63.17m/sec^2$)

25.נקודה נמצאת על היקף גלגל שרדיוסו 0.3m. הגלגל השלים 100 סיבובים במשך 2sec.

א. מהם תדירות וזמן המחזור?

ב. מהו מרחק שעברה הנקודה?

ג. מהי זווית הסיבוב?

ד. מהן המהירות המשיקית והמהירות הזוויתית של הנקודה?

ה. מהי התאוצה הצנטריפטלית?

(א. $f=50Hz$, $T= 0.02sec$. ב. 188.50m. ג. $\theta= 200\pi$ rad.

ד. $\omega=100\pi$ rad/sec, $v = 94.28m/sec$. ה. $a_R = 29,608.81m/sec^2$)

26. גלגל, המסתובב במהירות זוויתית 10rad/sec, מואץ בתאוצה זוויתית קבועה, שגודלה $0.4rad/sec^2$. רדיוס הגלגל 0.4m.
א. כמה סיבובים שלמים השלים הגלגל לאחר 5sec מרגע ההאצה?
ב. מהי המהירות הזוויתית לאחר 5sec?
ג. מהן התאוצה המשיקית והתאוצה הצנטריפטלית לאחר 5sec?
(א. N=8. ב. ω=12rad/sec. ג. $a_\tau = 0.16m/sec^2$, $a_R = 57.6m/sec^2$)

27. גלגל מתחיל להסתובב בתאוצה זוויתית קבועה ומשלים 30 סיבובים במשך 15sec. רדיוס הגלגל 0.1m.
א. מהי התאוצה הזוויתית ומהי התאוצה המשיקית?
ב. מהי התאוצה הרדיאלית לאחר 30 סיבובים?
ג. מהי התאוצה הכללית לאחר 30 סיבובים?
(א. $1.68rad/sec^2$, $0.17m/sec^2$. ב. $a_R = 63.17m/sec^2$. ג. $a = 63.17m/sec^2$)

28. במשך 5sec המהירות הזוויתית גלגל השתנתה מ- 12rad/sec ל - 20rad/sec. מהי התאוצה הזוויתית? ($1.6rad/sec^2$)

29. גלגל, המסתובב במהירות זוויתית 20rad/sec, מתחיל להאיץ בתאוצה זוויתית קבועה של $6rad/sec^2$ במשך 5sec. כמה סיבובים השלים הגלגל? (N=27.85)

30. גלגל, המסתובב במהירות זוויתית 2rad/sec, מתחיל להאיץ בתאוצה זוויתית קבועה ומגיע למהירות של 6rad/sec. בזמן ההאצה השלים הגלגל 40 סיבובים. מהי התאוצה הזוויתית? ($0.064rad/sec^2$)

פרק 6: כוחות

6.1 כוח

מונח הכוח נראה לנו פשוט ומובן מאליו. זיכרונות ראשוניים מקשרים כוח עם מאמץ שרירינו, הדרוש להחזקת או הזזת חפצים מסוימים. עקב שכיחות קיום הכוח משתמשים במונח הזה גם במקרים רבים בצורה הלא נכונה. למשל, מדברים על כוח נפשי או על כ"ס (כוח סוס) ועוד. בפיסיקה מונח הכוח בעל משמעות מצומצמת יותר. כוח מציין את מידת ההשפעה של גוף אחד על גוף אחר ולהפך. במלים אחרות, כוח הוא מידת השפעה הדדית בין גופים. הגדרה מדויקת של המונח כוח היא כהשפעה של גוף אחד על גוף שני, כאשר מתרחשים שינויים ואך ורק במהירות הגוף, בצורתו, או בשניהם ביחד, ותו לא. כל השפעה הדדית אחרת, שבה אין שינוים במהירות, או בצורת הגוף, לא שייכת למשפחה של הכוחות. למשל, מעבר חום מגוף חם לגוף קר, או שינוי במצב הצבירה לא קשורים לכוחות.

כעת נטפל בכוחות, הפועלים על גופים הנמצאים במנוחה, או במלים אחרות, כוחות הפועלים על גופים הנמצאים במצב שיווי- משקל.

המאפיינים של הכוח הם: גודל, כיוון במרחב ונקודת אחיזה. חשוב לציין, שמקור הכוח הוא גוף אחד המשפיע על גוף שני וכתובת היעוד, כלומר, נקודת האחיזה של הכוח, היא בגוף השני. הסימן הכללי של הכוח הוא האות **F**, כאות הראשונה של המלה האנגלית "force", שפרושה כוח. משפחת הכוחות גדולה מאוד, ועל כן, כדי לציין את ההבדלים בין סוגים שונים של כוחות אנו משתמשים גם בסימנים אחרים – **N**, **T**, **P**,**G** ועוד. סימנים חילופיים הם האות **F** עם תוספת אינדקס של תו מסוים: $N=F_N$, $T = F_T$ ועוד.

יחידת הכוח הבסיסית במערכת בינלאומית SI היא 1ניוטון = 1N. בחיי היום-יום ובטכנולוגיה משתמשים ביחידה ישנה של קילוגרם כוח (1קג"כ = 1kgF). הקשר בין היחידות הוא: 1קג"כ = 9.81 ניוטון.

כוח הוא וקטור, לכן בתרשימים ובשרטוטים מקובל לצייר כוחות כחצים. כיוון החץ מייצג בשרטוט את כיוון הכוח במרחב. אורך החץ הוא בהתאם לגודל הכוח: ככל שהכוח חזק יותר, אורך החץ גדול יותר. כוחות, הנוצרים במגע בין הגופים, פועלים בכל נקודות המגע. בחלק מהמקרים מרכזים את כל הכוחות בנקודה אחת, הנקראת נקודת האחיזה. בציורים ישנן שתי אפשרויות: להתחיל חץ של כוח הפועל על הגוף מנקודת האחיזה A, או לצייר את החץ המייצג כוח, כך שראשו נוגע בנקודת האחיזה (איורים מס' 1 ו- 2).

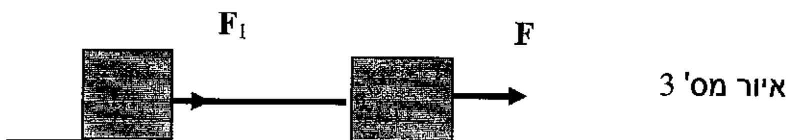


איור מס' 1



איור מס' 2

אותו הכוח לא יכול להשפיע בו-זמנית על שני גופים שונים. יעד הכוח מסוים הוא אך ורק גוף אחר המרגיש אותו. שגיאה נפוצה מאוד היא לייחס לאותו הכוח יותר מיעד אחד. למשל, כוח **F**, המושך שני גופים הקשורים זה לזה, פועל אך ורק על גוף הראשון. על הגוף השני תמיד פועל כוח אחר $\mathbf{F_1}$ (איור מס' 3).



איור מס' 3

הבדל בין שני כוחות זהים (גודל וכיוון) - בנקודת האחיזה. לכל כוח קיימת אך ורק נקודה אחיזה אחת - נקודת אחיזה משלו. בחלק מהמקרים, כאשר על אותו הגוף פועלים בו-זמנית מספר כוחות, אנו יכולים להחליף את כל הכוחות בכוח אחד הנקרא הכוח השקול. ההחלפה דורשת, כי התוצאות הנגרמות על ידי הכוח השקול חייבות להיות זהות לתוצאות הנגרמות על ידי כל הכוחות יחד.

6.2 הכוח השקול

הכוח השקול – כוח המחליף את כל הכוחות הפועלים על גוף וגורם לאותה השפעה. לחישוב הכוח השקול, או הרכיבים שלו, אנו משתמשים בפעולות חשבון השונה מהפעולות של החשבון הרגיל. החשבון הנדרש נקרא חשבון וקטורי.

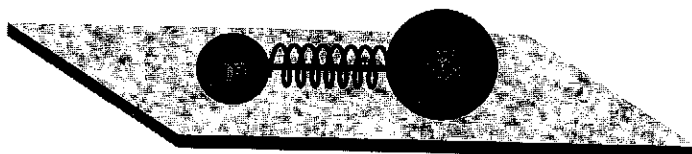
6.3 החוק הראשון של ניוטון

מניסיון האנושות ידוע לנו, שכאשר פועל כוח אחד על גוף כלשהו, הוא חייב לנוע בתאוצה. על גופים הנמצאים במנוחה (במצב שיווי-משקל), לא פועל אף כוח, או פועלים מספר כוחות, כך שההשפעות שלהם מבטלות אחת את השנייה. במילים אחרות, הכוח השקול שלהם שווה לאפס. העובדה הזו ידועה בשם של חוק הראשון של ניוטון. על פי החוק הראשון של ניוטון, גוף יישאר במצב מנוחה, או ימשיך לנוע בקו ישר ובמהירות קבועה, אם הכוח השקול של כל הכוחות הפועלים עליו שווה לאפס.

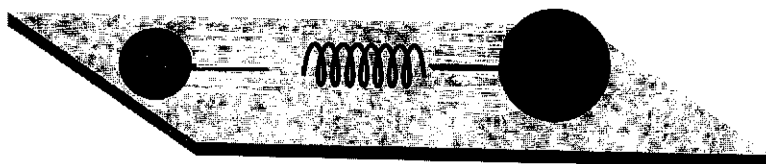
6.4 מסה

הגדרה קלה ונוחה של מונח **המסה** - **<u>כמות החומר שבגוף</u>**. על פי ההגדרה, אנו אומרים, כי מסת הגוף לא תלויה במקום בו הוא נמצא. לאותו גוף יש אותה כמות חומר בכל מקום, כלומר, יש אותה המסה. מסת הגוף זהה על פני כדור הארץ, על פני הירח או בכל מקום אחר. הגדרה נכונה יותר של המסה: מסה היא **<u>מידת התמדה</u>**.
כדי להסביר את הבדל בין התמדת גופים שונים ננתח תוצאות ניסוים, שבהם שני כדורים, שהתמדה שלהם שונה, משפיעים האחד על השני (איורים מס' 4 ו – מס' 5).

כאשר חותכים את החוט המחזיק קפיץ שבין שני הכדורים, הכדורים מתחילים לנוע. כיוון שההתמדה של אחד מהם גדולה יותר, הכדור הגדול (m_1) משנה את המהירות במידה קטנה יותר מאשר הכדור הקטן (m_2). הכדור, שההתמדה שלו קטנה יותר, מתחיל לנוע בתאוצה גדולה יותר. ניתן לומר, שההתמדה והמסה של הגוף הגדול גדולים יותר.



איור מס' 4



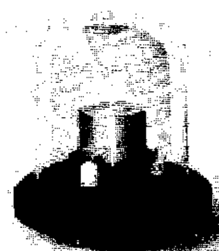
איור מס' 5

מדידת התאוצות של שני גופים בניסוים, כאשר מידת התכווצות הקפיץ שונה, מאפשרים לנו להסיק מסקנה, כי יחס בין תאוצות הגופים תמיד נשאר קבוע ללא תלות בעוצמת ההשפעה ההדדית. כך מתאפשר לנו להשוות בין התמדת הגופים, כלומר, להשוות בין מסות הגופים על פי הקשר הבא:

$$\frac{m_1}{m_2} = \left| -\frac{a_2}{a_1} \right|$$

על פי הנוסחה שלמעלה, ניתן לחשב מסת גופים קטנים מאוד, כמו מסה של אטומים, וגם גופים עם מסה ענקית, כמו כוכבים. לכל גוף ישנה התמדה, או מסה משלו. לא קיים במציאות גוף ללא מסה, גוף ללא מסה קיים אך ורק בדמיון. ככל שמסת הגוף גדולה יותר, גם ההתמדה, או במילים אחרות האינרציה שלו, גדולה יותר.הסימן של המסה – **m**. במערכת בינלאומית SI היחידה הבסיסית של המסה 1ק"ג = 1kg.

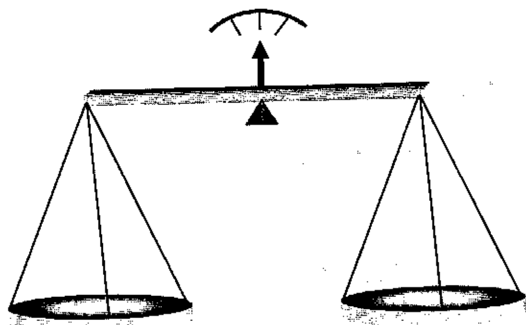
קילוגרם אחד הוא מסה של גוף תקני (סטנדרטי) הנשמר היטב במכון למדידות (איור מס' 6).



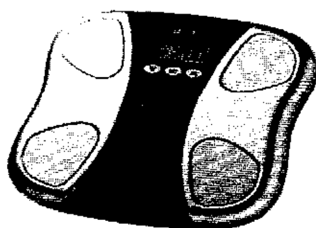
כל המשקולות שאנו משתמשים בהן – הן עותקים של הגוף התקני. בדיוק טוב 1ק"ג הוא המסה של 1ליטר מים מזוקקים בטמפרטורה של 4^0C.
1ק"ג = 1,000גר'. יחידה גדולה פי אלף היא 1טון = 1,000ק"ג. בארצות הברית ובמדינות אחרות משתמשים גם ביחידה של מסה הנקראת פאונד. 1פאונד = 0.4536ק"ג.

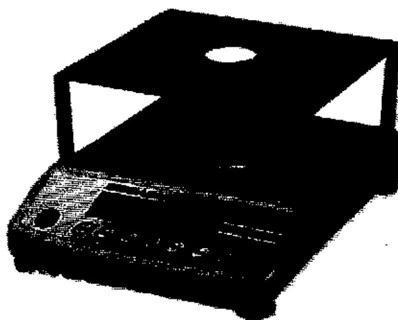
איור מס' 6

כפי שציין, ניתן לחשב את המסה באמצעות מדידת התאוצות שני גופים המשפיעים האחד על השני, כאשר המסה של אחד מהם ידועה. דרך נוחה יותר וגם מדויקת היא שקילה באמצעות שימוש במאזניים, כי משקל גופים נמצא ביחס ישיר למסה. ישנם סוגים שונים של מאזניים למדידת המסה. המאזניים הפשוטים הם מאזני כף. (ראה איור מס' 7).



איור מס' 7





סוגים שונים של מאזנים מתוארים באיור מס' 8.

איור מס' 8

מסה של קבוצת (מערכת) גופים שווה לסכום מסות הגופים,לכן אין צורך למדוד מהי מסה של הקבוצה, כאשר המסה כל אחד מהגופים ידועה. למשל, מסת המים הנוצרים עקב תגובה כימית בין שני גזים: חמצן ומימן שווה לסכום המסות של כל אחד משני המרכיבים.
אחד החוקים הכלליים ביותר בטבע הוא חוק שימור המסה. על פי חוק זה, המסה של מערכת גופים סגורה (מבודדת) היא גודל קבוע.

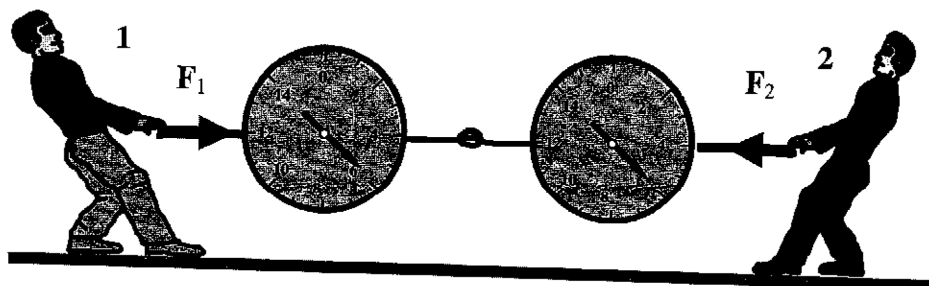
$$m_1 + m_2 + m_3 + \dots m_n = const$$

6.5 החוק השלישי של ניוטון

החוק השלישי של ניוטון מטפל בכוחות, ששני גופים מפעילים האחד על השני. במילים אחרות, החוק השלישי של ניוטון מטפל בכוחות של השפעה הדדית בין גופים (איור מס' 9). על פי החוק השלישי של ניוטון, הכוחות, שגופים מפעילים האחד על השני, תמיד שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם. אין משמעות לכוח השקול של כוחות השפעה הדדית, כי הכוחות פועלים על שני גופים שונים.

ביטוי מתמטי לחוק השלישי של ניוטון הוא: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

הסימן מינוס אומר לנו ,כי הכוחות הם בכיוונים מנוגדים.



איור מס' 9

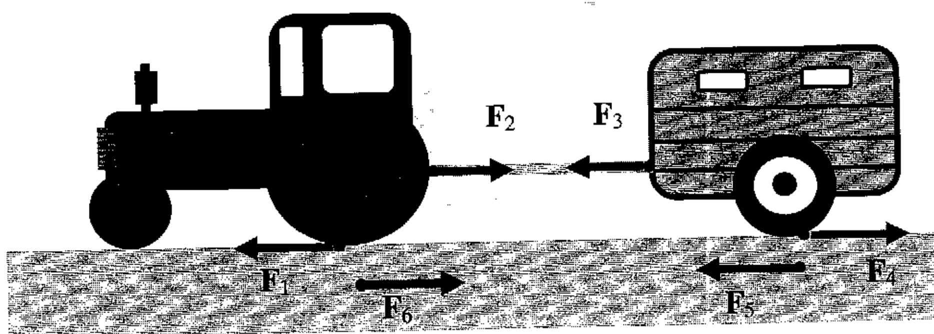
מתי ולאיזו מטרה משתמשים בחוק השלישי של ניוטון?

מקרה ראשון: כוחות ההשפעה ההדדית תמיד מופיעים בזוגות. למשל, כוח הנורמל שתמיכה מפעילה על גוף וכוח שהגוף מעיק על תמיכתו.

מקרה שני: ברוב המקרים נוח יותר לחשב את כוח הנורמל במקום הכוח המעיק, שעל פי החוק השלישי של ניוטון, שווה בגודלו לכוח המעיק.

דוגמה אחרת: בזמן תנועת גוף על פני מישור נוצרים שני כוחות חיכוך. כוח חיכוך אחד פועל על הגוף, ויחסית קל למדוד אותו. המדידה של כוח החיכוך השני הפועל על המישור לא נוחה. כדי לדעת מהו כוח החיכוך הפועל על המישור משתמשים בחוק השלישי של ניוטון.

באיור שלמטה (איור מס' 10) מתואר טרקטור, המושך עגלה וכמה מזוגות כוחות של השפעה הדדית בין גופים במערכת. הגופים במערכת הם טרקטור, עגלה, קרקע וחבל, המחבר בין הטרקטור והעגלה. באיור F_1 – הוא כוח החיכוך הסטטי שהקרקע מפעילה על הטרקטור, ו - F_6 הוא כוח החיכוך הסטטי, שהטרקטור מפעיל על הקרקע. (כדי להקל על ההבחנה בין נקודות האחיזה, הכוחות האלה לא מצוירים לאורך אותו הקו). F_2 הוא הכוח שהעגלה מפעילה על הטרקטור באמצעות החבל ו - F_3 הוא כוח, שהטרקטור מפעיל על העגלה באמצעות החבל המחובר ביניהם. F_5 הוא כוח החיכוך, שגלגול העגלה מפעיל על הקרקע, ו - F_4 הוא כוח חיכוך גלגול, שהקרקע מפעילה על גלגלי העגלה.



איור מס' 10

תלמידים, המתחילים ללמוד את החוק השלישי של ניוטון, לעיתים קרובות שואלים שאלה: אם הכוח שבו הטרקטור מושך את העגלה, שווה לכוח שהעגלה מפעילה על הטרקטור, מדוע העגלה נעה אחרי הטרקטור ולא להפך? הריי הכוח השקול של שני הכוחות: F_2 ו - F_3, השווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם, שווה לאפס. התשובה הנכונה מסבירה, שאין משמעות לכוח השקול של הכוחות F_2 ו - F_3, כי הם פועלים על שני גופים שונים: על הטרקטור ועל העגלה. בכיוון האופקי על הטרקטור פועלים שני כוחות: F_1 ו – F_2. כדי שטרקטור יתחיל לנוע, נדרש שהכוח השקול שלהם יהיה שונה מאפס, ויתקיים התנאי: $F_1 > F_2$. באותו הזמן תנועת העגלה מתחילה מרגע בו הכוח השקול של כוחות F_4 ו - F_3 גם הוא יהיה שונה מאפס.

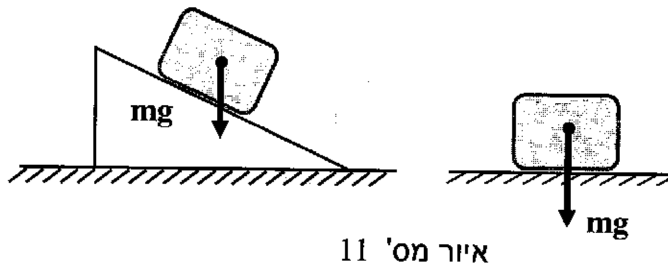
6.6 כוח הכובד

כוח הכובד (הכבידה) הוא כוח שבו גופים נמשכים לפני כדור הארץ. לכוח הכבידה, אנו קוראים כוח גרביטציה ארצית, וסימנו הוא W . לחישוב כוח הכובד משתמשים בנוסחה:

W – כוח הכובד (N)
m – מסה (kg)
g – תאוצת הכובד (m/sec^2)

$$W = mg$$

כיוונו של כוח הכבידה תמיד כלפי מרכז כדור הארץ. באיורים אנו מייצגים אותו באמצעות חץ, היוצא מנקודה הנמצאת במרכז הגוף ונקראת מרכז המסה, או מרכז הכובד. ישנם ספרים בהם כוח הכובד נקרא בשם משקל הגוף. באיור מס' 11 מתוארים שני מקרים של פעולת כוח הכובד. בחלק מהאיורים במקום הסימן **W** רושמים **mg**.

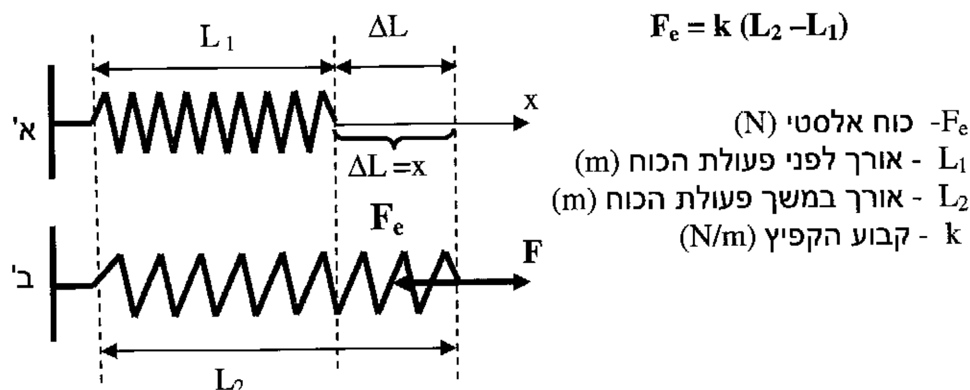


איור מס' 11

6.7 כוח אלסטי. חוק הוק

כבר ציין, כי כוח הוא סיבה לשינוי צורת הגוף. ניקח פיסת ספוג ונפעיל עליו כוח שמשנה את צורתו. מה יקרה לספוג, אם הכוח הפסיק לפעול? ניתן לראות, שהספוג יחזור לצורתו המקורית. לתכונה המאפשרת לגופים לחזור לצורתם המקורית לאחר הפסקת פעולת הכוח החיצוני, קוראים בשם אלסטיות. הכוח המחזיר את הספוג לצורה מקורית, הוא כוח אלסטי. כאשר ניקח גוש בצק נראה, כי לאחר הפסקת פעולת הכוח, גוש הבצק לא חזר לצורתו המקורית. עיוות הצורה שלו נשמר. לתכונה של גופים הגורמת להם לשמור את השינויים בצורתם לאחר הפסקת פעולת הכוח החיצוני, קוראים בשם פלאסטיות.
המדען הבריטי **הוק** גילה, כי גודל הכוח האלסטי נמצא ביחס ישר למידת שינוי האורך.

כאשר כוח חיצוני משנה רק את אורך הגוף, למשל, כוח כלשהו מושך קפיץ, חוק הוק ירשם בצורה הבאה:



איור מס' 12: א'- קפיץ רפוי, ב'- קפיץ מתוח בכוח F

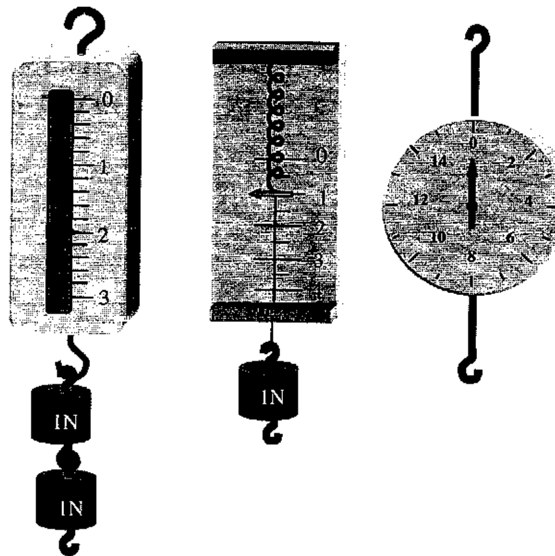
לביטוי $L_2 - L_1$ קוראים התארכות, וסימנו -ΔL . $\Delta L= L_2 - L_1$, וניתן לרשום את חוק הוק כך: $F_e=k\times\Delta L$. כאשר נקודת האפס של ציר ה– x מתלכדת עם הקצה של קפיץ רפוי, והתארכות היא $x = \Delta L$, ניתן לכתוב את חוק הוק בצורה הבאה:

$$\vec{F}_e = -k\vec{x}$$

סימן המינוס במשוואת חוק הוק בא כדי לציין את העובדה, שכיוון וקטור הכוח האלסטי תמיד הפוך לכיוון וקטור ההעתק של חלקיקי הגוף בזמן שינוי צורתו.
כדי לברר מהי המשמעות הפיסיקלית של קבוע הקפיץ, או קבוע הכוח האלסטי **k**, ניקח מקרה פרטי, בו התארכות הקפיץ שווה ליחידת אורך. על פי הנוסחה של חוק הוק, $F_e= k$ כלומר, קבוע הכוח האלסטי מראה מהו הכוח אלסטי, אם התארכות הגוף שווה ליחידת אורך אחת. מתוך הנוסחה של חוק הוק נובע, כי את קבוע הכוח האלסטי (קבוע הקפיץ) מודדים – בניוטון/מטר =N/m .

6.8 מד כוח - דינמומטר

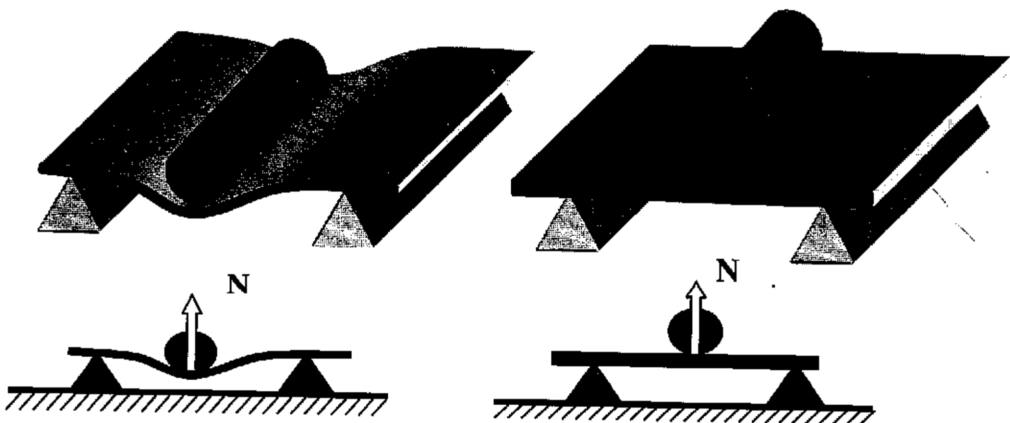
קפיץ מכויל הוא החלק העיקרי של מכשיר למדידה כוחות. מחוג המחובר לקפיץ מראה מהו הכוח הפועל על המכשיר. המכשיר נקרא מד כוח ובלועזית דינמומטר.
באיור מס' 13 שלמטה מצוירים שלוש דגמים שונים מכשירים למדידת כוח.



איור מס' 13: דגמים שונים של מד- כוח

6.9 הכוח הנורמלי (הנורמל)

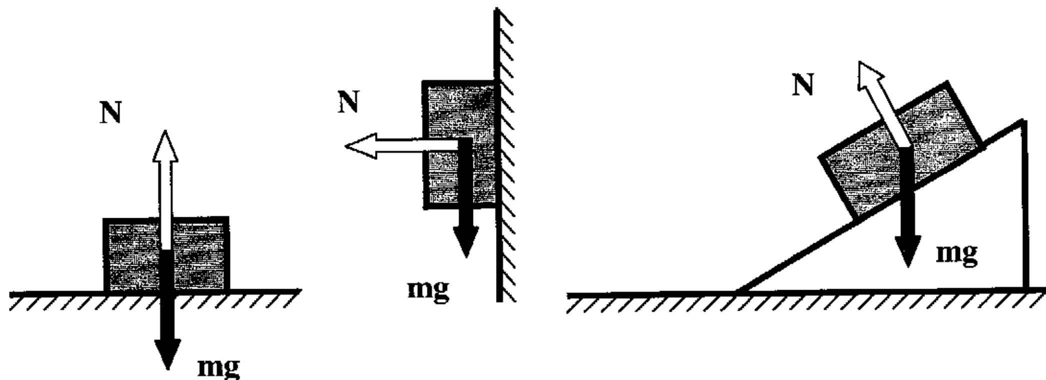
במשפחה הכוחות האלסטיים ישנם שני כוחות חשובים: הכוח **הנורמלי** וכוח **המתיחות**. הנורמל - כוח שהתמיכה מפעילה על הגוף הנמצא עליה. כוח הנורמל תמיד מאונך למישור המגע בין גוף לבין תמיכתו. סימנו של כוח הנורמל הוא – N . הנורמל תמיד נוצר עקב שינוי צורת התמיכה, אפילו אם אנו לא מבחינים בשינויים של צורת התמיכה. נתבונן בשני האיורים שלמטה, רק באיור מס' 15 רואים בבירור את שינוי צורת תמיכת הגליל.



איור מס' 14: כוח הנורמל הנוצר עקב שינוי צורה בלתי נראה לעיין

איור מס' 15: כוח הנורמל הנוצר עקב שינוי צורה שקל לראותו

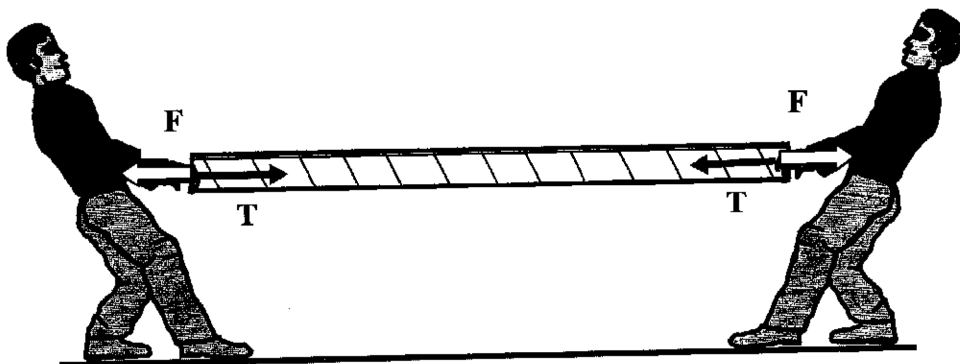
באיור מס' 16 שלמטה מתוארים מקרים שונים של הצגת כוח הנורמל (החץ הלבן). בנוסף מסומן כוח הכבידה (החץ השחור). לצורך פתרון בעיות נוח לצייר את כוח הנורמל כחץ המתחיל ממרכז המסה, אף על פי שכוח הנורמל פועל בנקודות המגע בין הגופים.



איור מס' 16: כוח הנורמל תמיד מאונך למישור המגע בין גופים

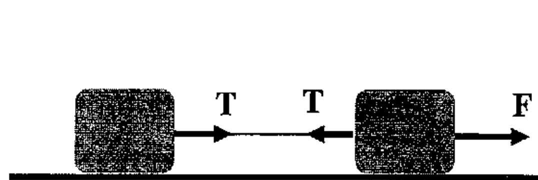
6.10 כוח המתיחות

כוח **המתיחות** הוא כוח, שחוט או חבל מתוח כלשהו, מפעיל על כל דבר שמחובר לקצוות החוט. הסימן של כוח המתיחות – **T**. כוח המתיחות תמיד פועל לאורך חוט או חבל. חוט מתוח בכוח **F** (מסומן כחצים לבנים באיור מס' 17) תמיד מנסה להתכווץ, וכוחות המתיחות T_1 ו T_2, שמסומנים בחצים השחורים, מכוונים כלפי המרכז, כי חוט מתוח תמיד מנסה להתכווץ (איור מס' 17).



איור מס' 17: כוחות מתיחות

באיור מס' 18 מתוארים מקרים שונים של כוחות מתיחות הפועלים בין גופים.

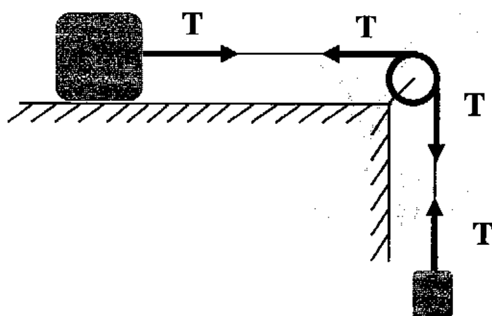


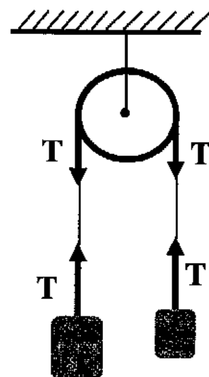


איור מס' 18: כוח מתיחות במקרים שונים

כוח המתיחות נשאר קבוע לאורך כל אותו החוט. אם נחתוך את החוט בנקודה כלשהי, כוח המתיחות יהיה זהה משני הצדדים של החתוך.

כאשר חוט עובר דרך גלגלת, כוח המתיחות משנה אך ורק את הכיוון, ולא את הגודל. עקב שינוי הכיוון, כוח המתיחות פועל גם על הגלגלת (איור מס' 19).





איור מס' 19: כוח מתיחות במערכות משולבות גלגלת

6.11 כוח חיכוך סטטי

כוח החיכוך הסטטי הוא כוח החיכוך המונע את ניתוק הגוף ממקום שבו הוא נמצא. כיוונו של כוח החיכוך הסטטי הוא תמיד נגד כיוון כוח אחר, המנסה להזיז את הגוף, ובמקביל למישור המגע בין הגופים המתחככים. דרך נוחה לבירור כיוונו של כוח החיכוך הסטטי היא קביעת כיוון התזוזה האפשרית של הגוף.

כיוון כוח החיכוך הסטטי תמיד במגמה הפוכה לכיוון התזוזה האפשרית. חשוב לציין, כי כוח החיכוך הסטטי תמיד מאונך לכיוון של הכוח הנורמלי. גודלו של כוח החיכוך הסטטי שווה לגודל של כוח אחר (או של הכוח השקול של כל הכוחות האחרים מלבד כוח החיכוך הסטטי), שפועל על הגוף הנמצא במצב שיווי-משקל.

לחישוב כוח החיכוך הסטטי משתמשים בנוסחה: $\mathbf{F_s = \Sigma F}$

$\mathbf{\Sigma F}$ – כוח השקול של כל הכוחות חוץ מכוח חיכוך סטטי

שינוי הכוח הפועל על גוף גורם לשינוי כוח החיכוך הסטטי. כוח החיכוך הסטטי יכול לקבל ערכים שונים שבין אפס לבין ערך מרבי המסומן ב - $F_{S\,max}$. כוח החיכוך הסטטי המרבי הוא כוח החיכוך, כאשר הגוף נמצא על סף תזוזה. הביטוי המתמטי לחישוב כוח החיכוך הסטטי המכסימלי הוא:

$F_{S\,max}$ – כוח החיכוך הסטטי המכסימלי (N)

μ_S - מקדם החיכוך הסטטי

N – הכוח הנורמלי (N)

$$\mathbf{F_{S\,max} = \mu_S \times N}$$

מקדם החיכוך הסטטי μ_S הוא מספר טהור (חסר יחידות), המאפיין את זוג החומרים מהם עשויים הגופים הנמצאים במגע. ערכים של מקדמי החיכוך הסטטי נקבעים בדרך ניסיונית ומופיעים בטבלאות. בדרך כלל מתקיים $0 < \mu_S < 1$.

6.12 כוח חיכוך קינטי

כוח החיכוך הקינטי – הוא כוח המפריע לתנועה (החלקה) של גוף אחד על פני גוף אחר. כיוונו של כוח החיכוך הקינטי תמיד נגד כיוון מהירות הגוף הנע ובמקביל למישור המגע בין הגופים. כוח החיכוך הקינטי מאונך לכוח הנורמל. הביטוי המתמטי לחישוב כוח החיכוך הקינטי הוא:

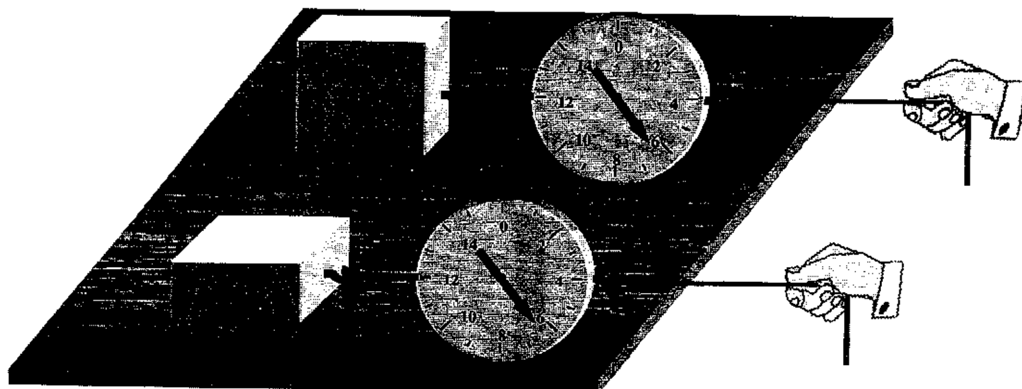
F_k– כוח החיכוך הקינטי (N)

μ_k – מקדם החיכוך

N – הכוח הנורמלי (N)

$$\mathbf{F_k = \mu_k \times N}$$

כוח החיכוך הקינטי תלוי בגודל כוח הנורמל ובסוג החומרים של הגופים הנמצאים במגע. בתחום רחב של מהירויות כוח החיכוך הקינטי נשאר קבוע וכמעט לא משתנה. גודל כוח החיכוך הקינטי בתחומים רחבים אינו תלוי בגודל של שטח מגע הגוף הנע עם מישור התמיכה. לגרירת שני גופים זהים שנוגעים בתמיכתם בפאות שונות דרוש כוח זהה (איור מס' 20).



איור מס' 20

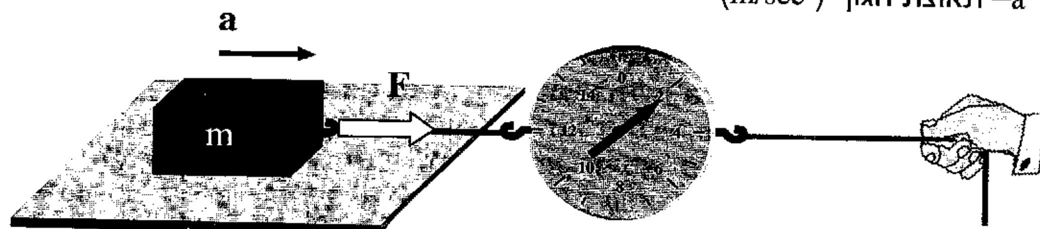
בדומה למקדם החיכוך הסטטי μ_S מקדם החיכוך הקינטי גם הוא מספר טהור חסר יחידות, המאפיין את זוג החומרים, מהם עשויים הגופים הנמצאים במגע. ערכים של מקדם החיכוך הקינטי נקבעים בדרך ניסיונית ומופיעים בטבלאות. בדרך כלל מקדם החיכוך הקינטי קטן קצת או שווה לערכים של מקדם החיכוך הסטטי.

6.13 החוק השני של ניוטון

החוק הראשון של ניוטון עונה על השאלה: מה קורה לגוף, אם הכוח השקול שפועל עליו שווה לאפס. באמצעות החוק השני אנו מטפלים במקרים, שבהם הכוח השקול של מספר הכוחות שפועל על הגוף <u>שונה</u> מאפס. על פי החוק השני, הכוח השקול הפועל על גוף שווה למכפלה מסת הגוף בתאוצתו. הביטוי מתמטי לחוק השני הוא:

$$\vec{F} = m \times \vec{a}$$

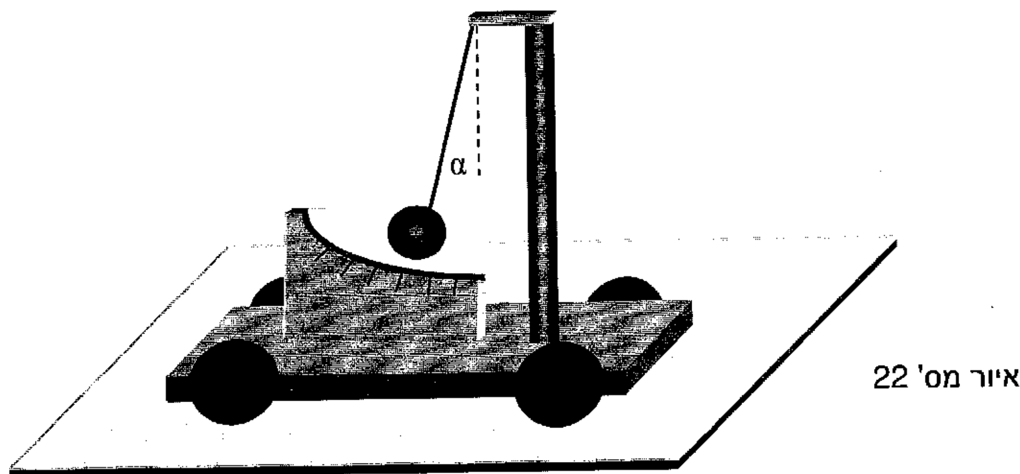
F – כוח או שקול כוחות (N)
m – מסת הגוף (kg)
a– תאוצת הגוף (m/sec^2)



איור מס' 21

באמצעות החוק השני של ניוטון אנו יכולים לתת הגדרה ליחידת הכוח. כוח של 1ניוטון, הוא כוח הגורם לגוף שמסתו 1ק"ג לנוע בתאוצה קבועה של 1מ'/שנייה^2.

הכיוון של וקטור תאוצת הגוף תמיד זהה לכיוון של וקטור הכוח השקול.



איור מס' 22

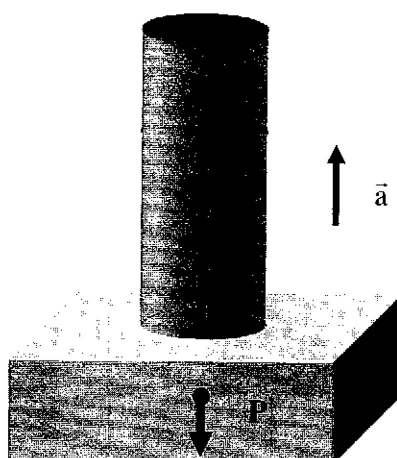
באיור מס' 22 מתואר מכשיר למדידת תאוצות. החלק העיקרי שלו הוא כדור תלוי לחוט. כאשר עגלה נעה בתאוצה, הכדור סוטה מהכיוון האנכי. הגודל של התאוצה נמצא ביחס ישר לטנגנס של זווית הסטייה. על פי החוק שני של ניוטון:

$$a = g \cdot Tan\alpha$$

6.14 משקל

רוב השגיאות בהבנה ובחישוב המשקל נובעות מקיצור המונח בשימוש בשפה היום-יומית: במקום לומר כוח משקל, אנו אומרים משקל, ושוכחים שהמשקל הוא כוח. בחלק מספרי הפיסיקה, מגדירים את המשקל, ככוח שבו גופים נמשכים לפני כדור הארץ. במילים אחרות, משקל הוא כוח הכבידה, או כוח הגרוויטציה. באמצעות הגדרה זו לא נוח להסביר את התופעות של חוסר משקל, או עודף משקל. ההסבר דורש מונח חדש של משקל מדומה, התלוי במצב הגוף ובסביבתו. בספרים אחרים מבחינים בין כוח הכבידה וכוח המשקל. על פי הגדרה זו, כוח **המשקל הוא כוח, שבו גוף לוחץ על תמיכה אופקית, או מותח את החבל המשמש לתליה אנכית**. הסימן של כוח המשקל הוא: **P**. כוח המשקל פועל על תמיכה או על חבל התלייה, ולא על הגוף עצמו.
כדי לחשב את משקל הגוף משתמשים בחוקי ניוטון. נדון במקרה, שבו הגוף נמצא במנוחה על פני מישור אופקי. על הגוף פועלים שני כוחות: כוח הנורמל כלפי מעלה וכוח הכובד כלפי מטה. כוח משקל הגוף פועל על המישור (התמיכה), שהגוף נמצא עליו.

כאשר הגוף נמצא במנוחה ופועלים עליו רק שני כוחות, על פי החוק הראשון של ניוטון, הכוחות שווים בגודלם: **N = W**. בנוסף, על פי החוק השלישי של ניוטון **P = -N**. המסקנה היא ש - **W = P**. משקל הגוף הנמצא במנוחה שווה לכוח הכובד.



איור מס' 23

לחישוב משקל גוף הנמצא במנוחה, או נע במהירות קבועה משתמשים בנוסחה:

P – כוח משקל (N)

m – מסה (kg)

g – תאוצת הכובד (m/sec^2)

$$P = mg$$

נדון במקרה של תנועת גוף בתאוצה a כלפי מעלה (איור מס' 23). על פי החוק השני של ניוטון

$$N - W = ma$$

אבל

$$W = mg$$

לכן

$$N = mg + ma$$

על פי החוק השלישי של ניוטון $P = N$, ולאחר הצבה מקבלים:

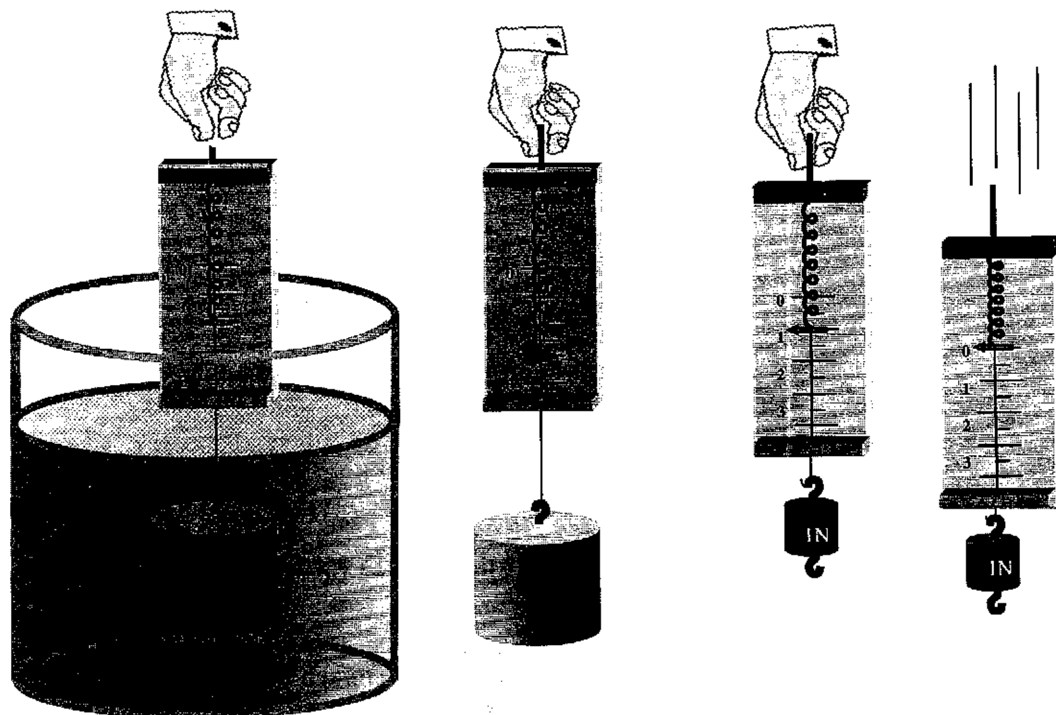
$P = mg + ma$, כלומר $P > W$.

המסקנה היא, שמשקל הגוף גדול מכוח הכובד, ומצב זה נקרא עודף משקל. באותה השיטה ניתן לחשב את משקל הגוף, כאשר הוא נע בתאוצה a כלפי מטה. במקרה זה

$$P = mg - ma$$

המסקנה היא, שמשקל הגוף קטן מכוח הכובד. כאשר $a = g$, $P = 0$, וזה מצב של חוסר משקל. משמעות הדבר – לגופים הנעים כלפי מטה בתאוצה השווה ל – $9.81\ m/sec^2$ אין משקל, כי הם לא לוחצים על התמיכה ולא מותחים את חבל התלייה.

באיור מס' 24 ניתן לראות, שבזמן נפילה חופשית הקפיץ של מד כוח לא מתוח בכלל, כלומר משקל הגוף שווה לאפס. באיור מס' 25 ניתן לראות, כי משקל גוף, הנמצא בנוזל, קטן מאשר באוויר.



איור מס' 24

איור מס' 25

6.15 החוק השני של ניוטון בתנועה מעגלית

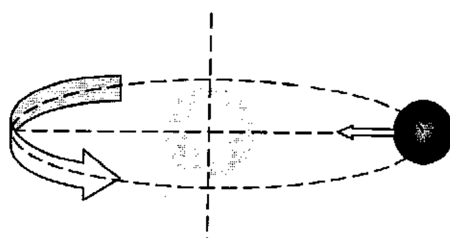
אנו יכולים לחשב את התאוצה הצנטריפטלית בעזרת החוק השני של ניוטון. על גוף הנע במסלול מעגלי תמיד פועל כוח בכיוון מרכז המעגל. הכוח הזה נקרא כוח צנטריפטלי. כאשר על גוף הנע במסלול מעגלי פועלים מספר כוחות, הכוח הצנטריפטלי הוא הכוח השקול שלהם. הכוח הצנטריפטלי הוא המסכה (איורים 26, 27), שלובש כוח אחר כמו: כוח הכבידה, כוח המתיחות, או מספר כוחות הפועלים ביחד. נוסחה המקשרת בין מסת הגוף, התאוצה צנטריפטלית והכוח הגורם לתנועה מעגלית (צנטריפטלי) היא:

$$F_c = m \times a_c$$

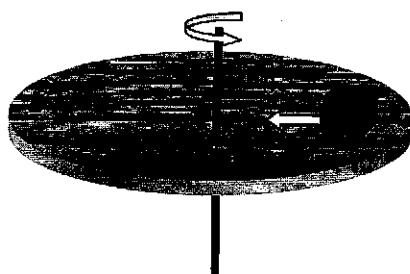
F_c- כוח צנטריפטלי (N)

m- מסה (kg);

a_c - תאוצה צנטריפטלית (m/sec^2)

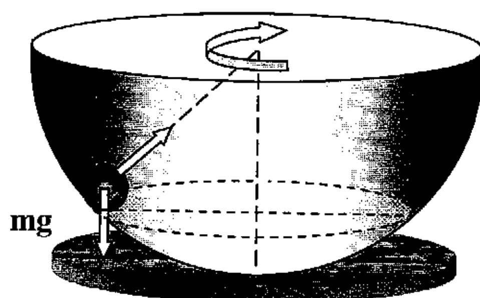


הכוח הגורם לתנועה מעגלית
כוח משיכה (גרוויטציה)

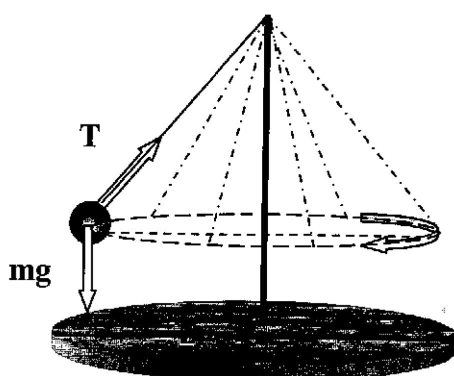


הכוח הגורם לתנועה
מעגלית כוח חיכוך

איור מס' 26



הכוחות הגורמים לתנועה מעגלית – כוח
הכבידה וכוח הנורמל



הכוחות הגורמים לתנועה מעגלית – כוח
הכבידה וכוח מתיחות

איור מס' 27

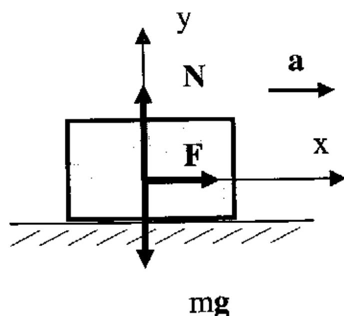
6.16 שימוש בחוקי ניוטון

באמצעות חוקי ניוטון אנו יכולים לפתור בעיות למציאת כוחות הפועלים על גופים ותאוצתם. חלק יחסית קטן הן בעיות למציאת מסת גופים. שיטה אחרת למציאת כוחות הפועלים על גופים ותאוצתם מבוססת על מונחי עבודה ואנרגיה אותם נלמד בפרקים הבאים. ברוב הבעיות מסת גוף או גופים היא ידועה.

בחלק אחר של בעיות תאוצת הגוף לא תלויה במסה, כלומר, בשלב מסוים של פתרון המשוואות מסת הגוף מצטמצמת. נתחיל ממקרה הפשוט ביותר:

בעיה מס' 1 גוף שמסתו m נמצא על פני מישור אופקי חלק. כוח קבוע, שגודלו **F**, מושך את הגוף בכיוון אופקי. מהי תאוצת הגוף?

רושמים את הנתונים ומציירים תרשים של כל הכוחות הפועלים על הגוף. מסמנים את הכיוון האפשרי של תאוצת הגוף באמצעות חץ. רושמים את החוק השני של ניוטון בצורה וקטורית.



$$\Sigma \mathbf{F}=m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{F}+\mathbf{N}+m\mathbf{g}=m\mathbf{a}$$

נתון:
m
F
a-?

כדי לרשום את המשוואה בצורה סקלרית, בוחרים מערכת צירים כך שאחד מהצירים יהיה בכיוון תאוצת הגוף. במקום המשוואה הווקטורית מקבלים שתי משוואות:

עבור ציר ה- x $\quad N_x+F_x+mg_x=ma_x$

עבור ציר ה- y $\quad N_y+F_y+mg_y=ma_y$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_y=0$	$a_x=a$
$N_y=N$	$N_x=0$
$F_y=0$	$F_x=F$
$mg_y=-mg$	$mg_x=0$

לאחר הצבה נקבל:

$$ma=F$$
$$0=N-mg$$

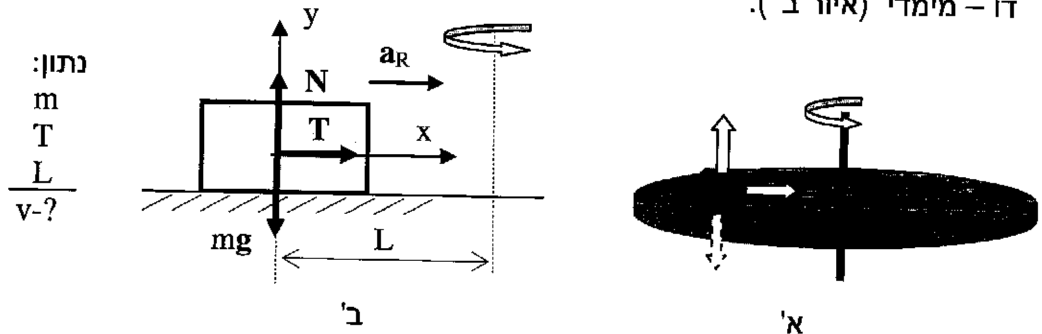
התשובה היא

$$a=\frac{F}{m}$$

כעת נלמד מהי הדרך לפתרון בעיה של תנועה מעגלית .

בעיה מס' 2: גוף שמסתו m קשור לחוט שאורכו L נמצא על פני דסקית מסתובבת אופקית. כוח המתיחות של החוט הוא T . מהי מהירות תנועתו?

כמו בבעיה הקודמת מתחילים הפתרון מרישום הנתונים ובניית האיור. איור תלת – מימדי (איור א') לא כל כך נוח לפתרון. ברוב המקרים משתמשים באיור דו – מימדי (איור ב').



הכוחות הפועלים על גוף הנמצא על פני דסקית מסתובבת

רושמים את החוק השני של ניוטון בצורה וקטורית:

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} \qquad \mathbf{T}+\mathbf{N}+m\mathbf{g} = m\mathbf{a}_R$$

משוואה הנוספת היא: $a_R = \frac{v^2}{R}$

כדי לרשום את המשוואה בצורה סקלרית, שוב בוחרים מערכת צירים כך שציר ה – x יהיה בכיוון תאוצת הגוף. במקום המשוואה הווקטורית מקבלים שתי משוואות

עבור ציר ה- x $\quad N_x + T_x + mg_x = ma_{Rx}$

עבור ציר ה- y $\quad N_y + T_y + mg_y = ma_{Ry}$

ומשוואה השלישית: $\quad v^2 = a_R R$

נחשב ונרשום את כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_y = 0$	$a_{Rx} = a_R$
$N_x = 0$	$N_y = N$
$T_y = 0$	$T_x = T$
$mg_y = -mg$	$mg_x = 0$

לאחר הצבה נקבל:

$$\begin{cases} ma_R = T \\ 0 = N - mg \\ v^2 = a_R L \end{cases}$$

כי $R = L$

אחרי פתרון מערכת המשוואות נקבל: $v = \sqrt{\frac{TL}{m}}$

כעת נסבך את בעיה מספר 1:

בעיה מס' 3. גוף שמסתו m, נמצא על פני מישור אופקי וחלק. כוח שגודלו $\mathbf{F_1}$ מושך את הגוף בכיוון אופקי ימינה וכוח שני שגודל $\mathbf{F_2}$ מושך את הגוף בכיוון אופקי שמאלה. מהי תאוצת הגוף?

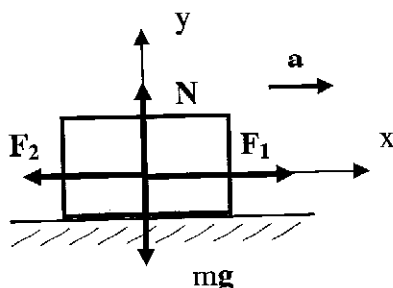
במה הבעיה שונה מהבעיה שפתרנו? רק בדבר אחד חדש - הכוח האופקי $\mathbf{F_2}$ שמושך את הגוף שמאלה. אנו פותרים את "הבעיה החדשה" באותה הדרך.

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} \qquad \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} + \mathbf{N} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}$$

נתון:
m
$\mathbf{F_1}$
$\mathbf{F_2}$
---
a-?

עבור ציר ה- x: $N_x + F_{1x} + F_{2x} + mg_x = ma_x$

עבור ציר ה- y: $N_y + F_{1y} + F_{2y} + mg_y = ma_y$



נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_y = 0$	$a_x = a$
$N_y = N$	$N_x = 0$
$F_{1y} = 0$	$F_{1x} = F$
$mg_y = -mg$	$mg_x = 0$
$F_{2y} = 0$	$F_{2x} = -F_2$

לאחר הצבה נקבל: $0 = N - mg$

$$ma = F_1 - F_2$$

התשובה היא :

$$a = \frac{F_1 - F_2}{m}$$

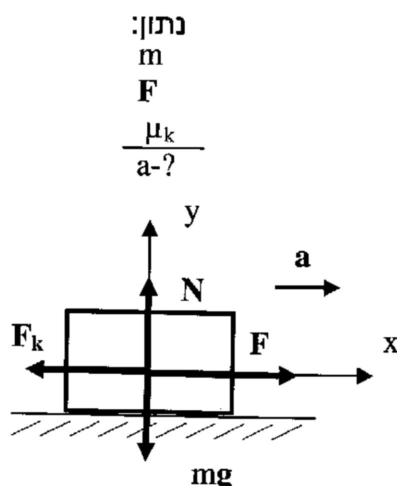
נסבך עוד את הבעיה הקודמת על ידי הוספת כוח חיכוך:

בעיה מס' 4. גוף שמסתו m נמצא על פני מישור אופקי מחוספס. כוח שגודלו F_1 , מושך את הגוף בכיוון האופקי ימינה . מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור הוא μ_k. מהי תאוצת הגוף?

נתון:
m
F
μ_k
a-?

מהו החידוש? במקום כוח F_2 הפועל על הגוף פועל כוח חיכוך F_k . שוב חייבים לעבוד באותה הדרך.

$$\Sigma F=ma \quad F + F_k + N+ mg =ma$$



עבור ציר ה-x $N_x +F_x +F_{kx} +mg_x = ma_x$
עבור ציר ה- y $N_y +F_y+ F_{ky} + mg_y= ma_y$

המשוואה השלישית היא: $F_k = \mu_k N$
נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_x = a$	$a_y = 0$
$N_x = 0$	$N_y = N$
$F_x = F$	$F_y = 0$
$mg_x = 0$	$mg_y = -mg$
$F_{kx} = - F_k$	$F_{ky} = 0$

לאחר הצבה ופתרון נקבל מערכת של שלוש משוואות עם שלושה נעלמים:

$$\begin{cases} F - F_k = ma & (1) \\ 0 = N - mg & (2) \\ F_k = N \mu_k & (3) \end{cases}$$

מתוך משוואה (2) מקבלים : $N = mg$

מציבים את התוצאה במשוואה (3) ומקבלים את כוח החיכוך: $F_k = \mu_k mg$

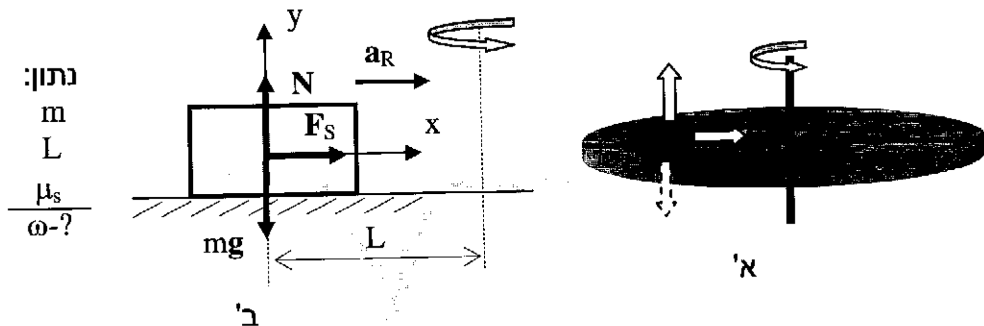
מציבים את התוצאה במשוואה (1) ומקבלים את התשובה הסופית:

$$a = \frac{F - \mu_k mg}{m}$$

נחזור שוב לתנועה מעגלית, שבה על הגוף פועל כוח חיכוך.

בעיה מס' 5: גוף שמסתו m נמצא על פני דסקית מחוספסת המסתובבת אופקית במרחק L מציר הסיבוב. מקדם החיכוך הסטטי μ_s . מהי מהירות זוויתית המרבית האפשרית של התנועה?

כמו בבעיה הקודמת של תנועה מעגלית, מתחילים את הפתרון מרישום הנתונים ובניית האיור. כפי שהיה אמור, ציור תלת – מימדי (איור א') לא כל כך נוח לפתרון הבעיה. משתמשים באיור דו – מימדי (איור ב'). כיוון כוח החיכוך הסטטי כלפי ציר הסיבוב. כוח הכובד פועל כלפי מטה וכוח הנורמל פועל כלפי מעלה. כוח החיכוך הסטטי הוא הכוח הגורם לתנועה המעגלית. (זכור כי כוח הגורם לתנועה מעגלית הוא תמיד כלפי מרכז המעגל).



כוחות הפועלים על גוף הנמצא על פני דסקית מסתובבת

רושמים את החוק השני של ניוטון בצורה וקטורית: $\Sigma F = ma$ $\quad F_S + N + mg = ma$

משוואה הנוספת היא התאוצה הרדיאלית $a_R = \omega^2 R$

כוח חיכוך סטטי $F_s = \mu_s N$

כדי לרשום את המשוואה בצורה סקלרית, שוב בוחרים מערכת צירים כך שהציר ה – x יהיה בכיוון תאוצת הגוף. במקום משוואה וקטורית מקבלים שתי משוואות. נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_y = 0$	$a_{Rx} = a$
$N_y = N$	$N_x = 0$
$F_{Sy} = 0$	$F_{Sx} = F_\mu$
$mg_y = -mg$	$mg_x = 0$

לאחר הצבה נקבל:

$$\begin{cases} ma_R = F_\mu & (1) \\ 0 = N - mg & (2) \\ a_R = \omega^2 L & (3) \\ F_\mu = \mu_s N & (4) \end{cases} \qquad \text{כי } R = L$$

מתוך משוואה (2) מקבלים : $N = mg$

מציבים את התוצאה במשוואה (4)

ומקבלים את כוח החיכוך: $F_\mu = \mu_s mg$

לאחר הצבת התאוצה הרדיאלית וכוח החיכוך במשוואה (1) נקבל את המשוואה הבאה:

$$m\omega^2 R = \mu_s mg$$

מסת הגוף מצטמצמת והיא מיותרת בבעיה הזו.

תשובה: $\omega = \sqrt{\frac{\mu_s g}{L}}$

עד לרגע הזה טיפלנו בבעיות, כאשר הכוחות הפועלים על הגוף הם בכיוון אופקי או אנכי. הבעיה הבאה שונה מכך מן הבעיות הקודמות.

בעיה מס' 6 גוף שמסתו m נמצא על פני מישור אופקי מחוספס. כוח F מושך את הגוף בזווית α לכיוון אופקי. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף והמישור μ_k . מהי תאוצת הגוף?

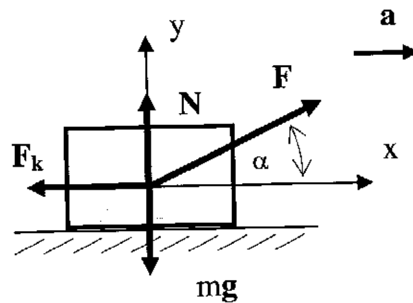
נשנה את האיור שציירנו בבעיה מס' 4. כעת כוח **F** פועל בזווית α לציר ה – x אבל משוואת החוק השני של ניוטון נשארת ללא שנויים:

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} \qquad \mathbf{F} + \mathbf{F_k} + \mathbf{N} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}$$

עבור ציר ה- x: $N_x + F_{Sx} + mg_x = ma_{Rx}$

עבור ציר ה-y: $N_y + F_{Sy} + mg_y = ma_{Ry}$

$$a_R = \omega^2 R$$



נתון:
m
F
μ_k
α

a-?

אין שנויים גם במשוואות של רכיבי הכוחות וכוח החיכוך.

עבור ציר ה-x: $N_x + F_x + F_{kx} + mg_x = ma_x$

עבור ציר ה- y: $N_y + F_y + F_{ky} + mg_y = ma_y$

המשוואה השלישית היא: $F_k = \mu_k N$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של וקטורי כוחות . רק רכיבי הכוח F השתנו.

$a_x = a$	$a_y = 0$
$N_x = 0$	$N_y = N$
$F_x = F\cos\alpha$	$F_y = F\sin\alpha$
$mg_x = 0$	$mg_y = -mg$
$F_{kx} = -F_k$	$F_{ky} = 0$

לאחר ההצבה נקבל מערכת של שלוש משוואות עם שלושה נעלמים:

$$\begin{cases} ma = F\cos\alpha - F_k & (1) \\ 0 = N - mg + F\sin\alpha & (2) \\ F_k = \mu_k N & (3) \end{cases}$$

מתוך משוואה (2) מקבלים :

$$N = mg - F\sin\alpha$$

מציבים את התוצאה במשוואה (3) ומקבלים את כוח החיכוך:

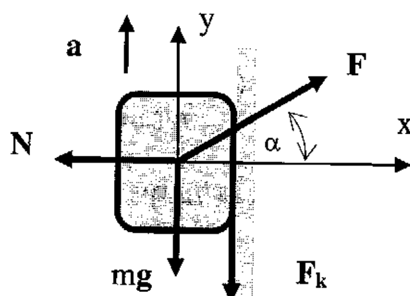
$$F_k = \mu_k(mg - F\sin\alpha)$$

מציבים את התוצאה במשוואה (1) ומקבלים את התשובה הסופית:

$$a = \frac{F\cos\alpha - \mu_k(mg - F\sin\alpha)}{m}$$

במה שונה בעיה של תנועת גוף על פני מישור משופע מהבעיות שפתרנו כבר? כדי לענות על השאלה נטפל בבעיה הבאה.

בעיה מס' 7 כוח F מושך גוף שמסתו m כלפי מעלה על פני מישור אנכי כמתואר בתרשים מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור μ_k.
מהי תאוצת הגוף?



נתון:
m
F
μ_k
α

a-?

המשוואה של החוק השני של ניוטון נשארת ללא שנויים כמו בשאלה מס' 6 .

$$\Sigma F = ma \qquad F + F_k + N + mg = ma$$

אין שנויים גם במשוואות של רכיבי הכוחות וכוח החיכוך.

עבור ציר ה-x $\quad N_x + F_x + F_{kx} + mg_x = ma_x$

עבור ציר ה- y $\quad N_y + F_y + F_{ky} + mg_y = ma_y$

המשוואה השלישית היא: $\quad F_k = \mu_k N$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של ווקטורי הכוחות . הפעם רכיב וקטור התאוצה לאורך ציר ה-x שווה לאפס.

$a_y = a$	$a_x = 0$
$N_y = 0$	$N_x = -N$
$F_y = F\sin\alpha$	$F_x = F\cos\alpha$
$mg_y = -mg$	$mg_x = 0$
$Fk_y = -F_k$	$F_{kx} = 0$

לאחר ההצבה נקבל מערכת של שלוש משוואות עם שלושה נעלמים:

$$\begin{cases} ma = F\sin\alpha - F_k & (1) \\ 0 = -N + F\cos\alpha & (2) \\ F_k = \mu_k N & (3) \end{cases}$$

מתוך משוואה (2) מקבלים : $N = F\cos\alpha$

מציבים את התוצאה במשוואה (3) ומקבלים את כוח החיכוך: $F_k = \mu_k F\cos\alpha$

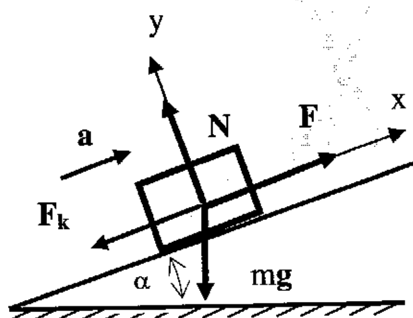
מציבים את התוצאה במשוואה (1) ומקבלים את התשובה הסופית:

$$a = \frac{F\sin\alpha - \mu_k F\cos\alpha - mg}{m}$$

במה שונה בעיה לתנועת גוף על פני מישור משופע מהבעיות שכבר פתרנו? כדי לענות על השאלה נטפל בבעיה הבאה:

בעיה מס' 8 גוף שמסתו m נדחף לאורך מישור משופע על ידי כוח **F** הפועל במקביל לפני המישור . זווית נטייה של המישור α. מקדם החיכוך הקינטי בין גוף לבין המישור המשופע μ_k. מהי תאוצת הגוף?

במתמטיקה מקובל לצייר ציר ה - x כציר האופקי ואת ציר ה - y כציר האנכי. בבעיה זאת אנו בפעם הראשונה משנים את כיוון מערכת הצירים. אנו קובעים את ציר ה – x במקביל לכיוון אפשרי של תאוצת הגוף, כלומר, לאורך מישור המשופע ואת ציר ה – y במאונך למישור.



נתון:
m
F
μ_k
α
a-?

משוואת החוק השני של ניוטון נשארת ללא שנויים

$\Sigma F=ma$ $\quad$ $\mathbf{F} + \mathbf{F_k} + \mathbf{N} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

$a_x = a$	$a_y = 0$
$N_x = 0$	$N_y = N$
$F_{kx} = F_\mu$	$F_{ky} = 0$
$F_x = F$	$F_y = 0$
$mg_x = -mg\sin\alpha$	$mg_y = -mg\cos\alpha$

לאחר ההצבה נקבל מערכת של שלוש משוואות עם שלושה נעלמים:

$$\begin{cases} F - mg\sin\alpha - F_k = ma & (1) \\ 0 = N - mg\cos\alpha & (2) \\ F_k = \mu_k N & (3) \end{cases}$$

מתוך משוואה (2) מקבלים :

$$N = mg\cos\alpha$$

מציבים את התוצאה במשוואה (3) ומקבלים את כוח החיכוך:

$$F_k = \mu_k mg\cos\alpha$$

מציבים את התוצאה במשוואה (1) ומקבלים את התשובה הסופית:

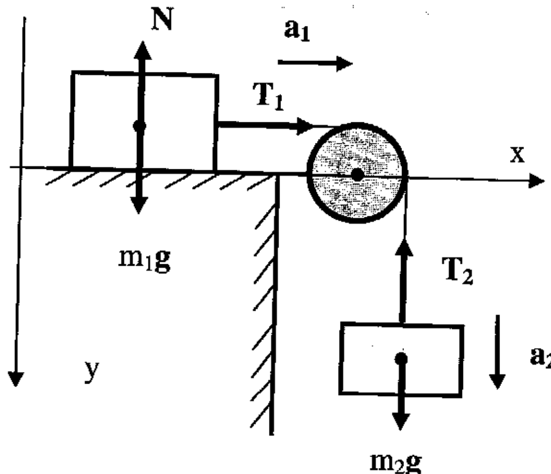
$$a = \frac{F - mg\sin\alpha - \mu_k mg\cos\alpha}{m}$$

כעת נתבונן במקרה מסובך יותר – תנועת גופים הקשורים זה לזה.

בעיה מס' 9 שני גופים $m_1 = 2kg$ ו- $m_2 = 3kg$ קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת (ללא חיכוך), כמתואר בתרשים. המישור האופקי הוא חלק. הנח כי מסות החוט והגלגלת זניחות.

א. מהי תאוצת הגופים?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?



נתון:
$m_1 = 3kg$
$m_2 = 2kg$

T- ?
a-?

כמו בכל בעיות הקודמות של תנועת גוף בודד, מתחילים את הפתרון מרישום הנתונים, בניית תרשים ובו מציירים את הכוחות הפועלים על כל גוף. מסמנים כיוון אפשרי של תאוצת הגופים באמצעות חצים, ובוחרים את כיוון הצירים, כך שלכל גוף כיוון אחד של הצירים יהיה בקביל לתאוצת הגוף. רושמים את החוק השני של ניוטון בצורה וקטורית:

הגוף הראשון   הגוף השני

$\mathbf{T_1} + \mathbf{N} + m_1\mathbf{g} = m_1\mathbf{a_1}$ $m_2\mathbf{g} + \mathbf{T}_2 = m_2\mathbf{a_2}$

ואחר כך בצורה סקלרית:

עבור ציר ה- x $N_x + T_{1x} + m_1g_x = m_1a_{1x}$ $m_2a_x = T_{1x} + m_2g_x$

עבור ציר ה- y $N_y + T_{1y} + m_1g_y = m_1a_{1y}$ $m_2a_y = T_{1y} + m_2g_y$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הוקטורים :

גוף הראשון   גוף השני

$a_{1y} = 0$ $a_{1x} = a$ $a_{2y} = a$ $a_{2x} = 0$

$N_y = -N$ $N_x = 0$ $T_{2y} = 0$ $T_{2x} = T$

$T_{1y} = 0$ $T_{1x} = T$ $mg_{2y} = 0$ $m_2g_x = m_2g$

$m_{1y} = m_1g$ $m_1g_x = 0$

אנו רושמים ש - $T_{1x} = T$ ו - $T_{2x} = T$ כיוון ש - $T_2 = T_1$

גם $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$

לאחר הצבה מקבלים משוואות לכל אחד משני הגופים:

בשביל ציר ה- x $m_1a = T$ (1)

בשביל ציר ה- y $0 = -N + m_1g$ (2)

$m_2a = -T + m_2g$ (3)

מתוך משוואה (2) ניתן למצוא את N . במשוואה זו משתמשים במקרים בהם קיים כוח חיכוך. במקרה שלנו המישור האופקי חלק, כלומר אין חיכוך. למציאת תאוצת הגופים בדך כלל מחברים את שתי המשוואות (1) ו – (3)

$$\begin{cases} m_1a = T \\ m_2a = -T + m_2g \end{cases}$$
$$(m_2 + m_1)\, a = m_2g$$

לאחר הצבת הנתונים מחשבים את התאוצה

$$a = \frac{m_2g}{m_1 + m_2} = \frac{2\times 10}{2+3} = 4\,\frac{m}{sec^2}$$

במקרה בו התאוצה שלילית ואין כוח חיכוך, אומרים, שכיוון תאוצת שני הגופים הפוך אך הערך המספרי של התאוצה נשמר.
למציאת כוח המתיחות משתמשים באחת משתי המשוואות (1) או – (3) . בדרך כלל בוחרים את המשוואה הפשוטה יותר (1):

$$T = m_1 a = 3\times 4 = 12N$$

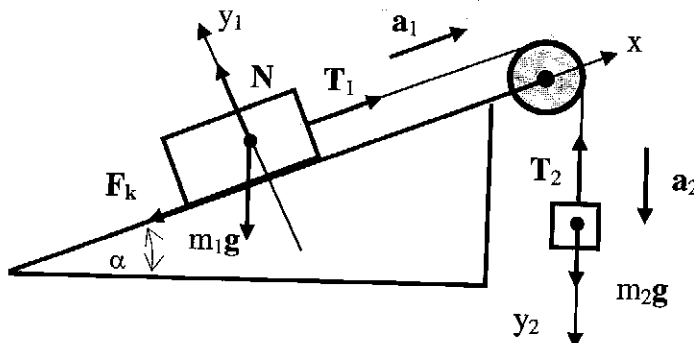
נסבך את בעיה מס' 9 .

בעיה מס' 10 שני גופים $m_1= 2kg$ ו- $m_2= 3kg$ קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת (ללא חיכוך), כמתואר בתרשים. המישור משופע אינו חלק, ומקדם החיכוך בינו לבין הגוף הוא 0.2. זווית הנטייה של המישור שווה ל- 30^0 . הנח כי מסות החוט והגלגלת זניחות.

א. מהי תאוצת הגופים?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

כמו בפעם הקודמות, מתחילים את הפתרון מרישום הנתונים ורישום שרטוט של הכוחות הפועלים על שני הגופים. מסמנים כיוון אפשרי של תאוצות הגופים באמצעות חצים ובוחרים את כיוון צירים, כך שלכל גוף אחד מהצירים יהיה במקביל לתאוצתו. כעת אין הצירים אינם משותפים, ולכל גוף מערכת צירים משלו.



$m_1=3kg$
$m_2=2kg$
$\alpha=30°$
$\mu_k= 0.1$
T- ?
a-?

כיוון אפשרי של תאוצת הגוף הראשון הוא לאורך המישור משופע כלפי מעלה, כלומר, כיוון כוח החיכוך כלפי מטה. על פי בחירת כיוון התאוצה , כיוון ציר ה - x בכיוון תאוצתו. ציר ה - y_1 בניצב למישור המשופע. הגוף השני יורד, ועקב כך אין צורך בציר ה - x. כיוון התאוצה של הגוף השני כלפי מטה, וציר ה - y_2 גם כלפי מטה.

רושמים את החוק השני של ניוטון בצורה וקטורית:

הגוף השני	הגוף הראשון
$m_2\mathbf{g} + \mathbf{T}_2 = m_2\mathbf{a}_2$	$\mathbf{T}_1 + \mathbf{N} + m_1\mathbf{g} + \mathbf{F}_k = m_1\mathbf{a}_1$

ואחר כך בצורה סקלרית:

עבור ציר ה- y

$$N_y + T_{1y} + m_1g_y + F_{ky} = m_1a_{1y} \qquad m_2a_y = T_{1y} + m_2g_y$$

נחשב ונרשום כל אחד מהרכיבים של הווקטורים :

הגוף השני	הגוף הראשון	
$a_{2y} = a_2$	$a_{1x} = a$	$a_{1y} = 0$
$T_{2y} = -T_2$	$N_x = 0$	$N_y = N$
$m_2g_{y1} = m_2g$	$T_{1y} = 0$	$T_{1x} = T_1$
	$F_{kx} = -F_k$	$F_{ky} = 0$
	$m_1g_x = -m_1g\text{Sin}\alpha$	$m_{1y} = -m_1g\text{Cos}\alpha$

$$\mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_2 = a$$

אנו רושמים ש - $T_{1x} = T$ ו - $T_{2x} = T$ בגלל ש- $T_2 = T_1$

לאחר ההצבה מקבלים משוואות לכל אחד משני הגופים:

עבור ציר ה- x $\qquad T - m_1g\text{Sin}\alpha - F_k = m_1a \quad (1)$

עבור ציר ה- y $\qquad N - m_1g\text{Cos}\alpha = 0 \quad (2)$

$$-T + m_2g = m_2a \quad (3)$$

משוואה נוספת היא: $\qquad F_k = \mu_kN \quad (4)$

מתוך משוואה (2) ניתן למצוא את כוח הנורמל N .

$$N = m_1g\text{Cos}\alpha \quad (5)$$

אחר כך מציבים את התוצאה (5) לתוך (4) ומקבלים:

$$F_k = \mu_k m_1g\text{Cos}\alpha \quad (6)$$

לאחר הצבת התוצאה (6) לתוך (2) מקבלים מערכת של שתי משוואות עם שני נעלמים:

$$T - m_1 g Sin\alpha - \mu_k m_1 g Cos\alpha = m_1 a$$
$$-T + m_2 g = m_2 a$$

למציאת תאוצת הגופים, בדרך כלל, מחברים את שתי משוואות (6) ו – (3):

$$\begin{cases} T - m_1 g Sin\alpha - \mu_k m_1 g Cos\alpha = m_1 a \\ -T + m_2 g = m_2 a \end{cases}$$
$$m_2 g - m_1 g Sin\alpha - \mu_k m_1 g Cos\alpha = (m_2 + m_1)a$$

לאחר הצבת נתונים מחשבים את התאוצה:

$$a = \frac{m_2 g - m_1 g Sin\alpha - \mu_k m_1 g Cos\alpha}{m_1 + m_2} =$$
$$= \frac{2\times10 - 3\times10\times Sin30^0 - 0.1\times3\times10\times Cos30^0}{2+3} = 0.48\frac{m}{sec^2}$$

למציאת כוח המתיחות משתמשים באחד משתי המשוואות (6) או – (3) . בדרך כלל בוחרים את המשוואה הפשוטה יותר (3):

$$T = m_2 (g - a) = 3\times(10-0.48) = 28.56N$$

במקרה בו לאחר הצבת הנתונים מתקבל שתאוצת הגופים היא שלילית, חייבים לשנות את כיוון כוח החיכוך ואת כיוון ציר ה - x ולעבור את כל הדרך מחדש. ישנן בעיות, בהן גם בפעם השנייה מקבלים, שתאוצה בכיוון השני גם היא שלילית. משמעות הדבר- הגופים לא נעים וכוח החיכוך בין הגוף הראשון לבין המישור הוא כוח חיכוך סטטי.

6.17 בעיות

מסה , כוח כבידה

1. מסת כדור 8kg. מהו כוח הכובד הפועל עליו על פני כדור הארץ? (78.48N)

2. מסת גוף 30gr. מהו כוח הכובד הפועל עליו על פני כדור הארץ? (0.29N)

3. כוח הכובד שפועל על הגוף על פני כדור הארץ הוא 20N . מהי מסת הגוף? (2.04kg)

4. מסת חלקיק 450gr.
א. מהו כוח הכובד שפועל עליו על פני כדור הארץ?
ב. מהו כוח הכובד שפועל עליו על פני הירח?
תאוצת הנפילה החופשית (תאוצת הכובד) על פני הירח $1.62m/sec^2$.
(א. 4.41N , ב. 0.73N)

5. כוח הכבידה הפועל על טיל על פני כוכב הלכת צדק 46,000N . תאוצת הכובד על פני צדק $24.9m/sec^2$.
א. מהי מסת הטיל?
ב. מה יהיה כוח הכבידה שיפעל על הטיל על פני כוכב הלכת שבתאי?
תאוצת הכובד על פני שבתאי $10.4\ m/sec^2$.
(א. 240.96kg , ב. 2506.02N)

6. כוח הכובד הפועל על גוף אחד על פני כדור הארץ הוא 30קג"כ. כוח הכובד הפועל על גוף שני, שנמצא על ירח הוא 46N. בעזרת חישוב קבע לאיזה גוף מסה גדולה יותר?

כוח אלסטי

1. אורך קפיץ רפוי הוא 13cm. אורך הקפיץ כשהוא מתוח 23cm. מהי התארכות הקפיץ? (10cm)

2. כוח של 40N גרם להתארכות קפיץ ב- 0.2m . מהו קבוע הקפיץ?
(200N/m)

3. קבוע הקפיץ 250N/m . ההתארכות היא 40cm. מהו הכוח שפועל על הקפיץ?
(100N)

4. כוח של 50N פועל על קפיץ שקבוע 1000N/m. מהי התארכות הקפיץ?
(0.05m)

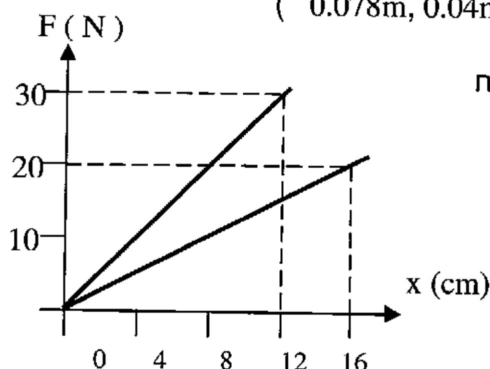
5. גוף שמסתו 5kg תלוי על קפיץ שקבוע 100N/m. מהי התארכות הקפיץ?
(0.49m)

6. עקב תלית גוף שמסתו 10kg על קפיץ, הקפיץ התארך ב -0.2m . מהי ההתארכות הקפיץ אם תולים על הקפיץ בנוסף עוד גוף שמסתו 2kg?

7. כאשר תולים על קפיץ מסה של 15kg הוא מתארך ב- 50cm . מהו קבוע הקפיץ? (294.3N/m)

8. אבן, שתלויה על קפיץ שקבוע 800 N/m, גרמה להתארכותו ב - 4cm.
מהי מסת האבן? (3.26kg)

9. שני קפיצים מחוברים בטור זה לזה. קבוע הקפיץ הראשון 250N/m, קבוע הקפיץ השני 400N/m. כדור שמסתו 2kg קשור לקצה הקפיץ השני. הקצה החופשי של הקפיץ הראשון קשור לתקרה.
א. מהו הכוח שפועל על הקפיץ הראשון?
ב. מהו הכוח שפועל על הקפיץ השני?
ג. מהי ההתארכות של כל אחד מהקפיצים?
(א. 19.62N , ב. 19.62N , ג. 0.078m, 0.04m)



10. נתון גרף המתאר את תלות גודל הכוח האלסטי של שני הקפיצים שונים בהתארכותם. חשב מתוך הגרף את קבועי שני הקפיצים.
(125N/m , 250N/m)

11. בטבלה הבאה מופיעות תוצאות המדידה של אורך קפיץ כפונקציה של מסת הגוף שתלוי עליו.

m (g)	50	80	90	110	140
L (cm)	12	14.1	14.7	16.5	18.4

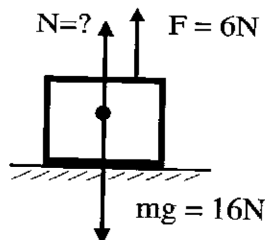
א. בנה גרף L (m). מהו היחס בין גודל המסה התלויה בקפיץ לבין אורכו?
ב. חשב מתוך הגרף את קבוע הקפיץ.
ג. חשב מתוך הגרף את אורך הקפיץ הרפוי.
(ב. 13.59N/m , ג. 0.836m)

כוח נורמל וכוח מתיחות

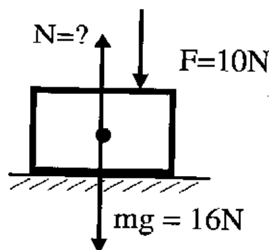
1. מסה של 10kg מונחת על גבי שולחן. מהו גודלו של הכוח הנורמלי? (98.1N)

2. חשב מהו הכוח הנורמלי במקרים הבאים:

א

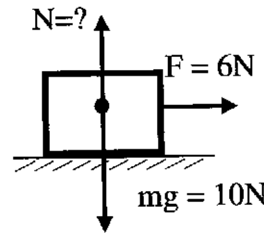


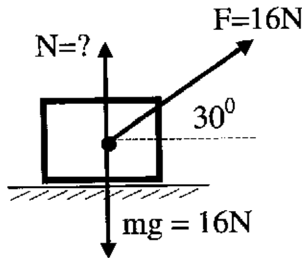
ב



(א. 10N, ב. 26N)

3. חשב מהו הכוח הנורמלי במקרים הבאים:
(הגופים נמצאים במצב שיווי משקל)

א


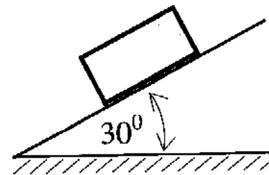
ב


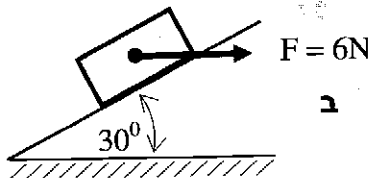
(א. 10N, ב. 8N)

4. מסת גוף הנמצא על פני מישור אופקי 12kg . על הגוף פועל כוח נורמלי השווה 200N . מהו הגודל והכיוון של כוח שלישי הפועל על הגוף בניצב למישור?
(82.28N , כלפי מטה)

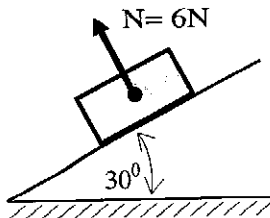
5. גוף מונח על מישור אופקי. על הגוף פועל כוח נורמלי השווה 100N. כוח שלישי פועל על הגוף כלפי מעלה בניצב למישור ושווה 82.28N. מהי מסת הגוף?
(18.58kg)

6. מסת גוף 1.2kg. חשב מהו הכוח הנורמלי במקרים הבאים:
(הגופים נמצאים במצב שיווי משקל)

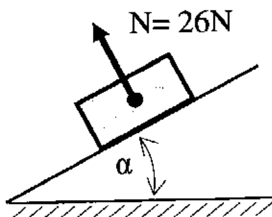
א


ב


(א. 10.19N , ב. 13.19N)

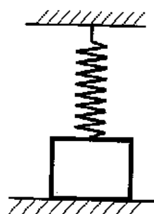


7. גוף מונח על פני מישור משופע
ונמצא במצב מנוחה. מהי מסת הגוף?
(0.706kg)

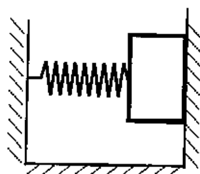


8. גוף מונח על פני מישור משופע
נמצא במצב מנוחה. מסת הגוף 6kg .
מהי זווית השיפוע של המישור? (63.79^0)

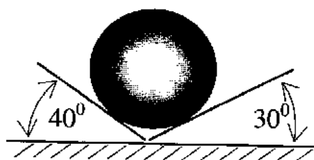
9. מסת גוף 2kg , קבוע הקפיץ 200N/m ,
התארכות הקפיץ 3cm. מהו הכוח הנורמלי?
(13.62N)



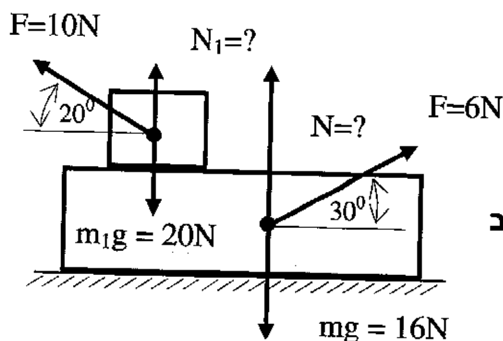
10. קבוע הקפיץ 200N/m ,
התכווצות הקפיץ 10cm.
מהו הכוח הנורמלי? (20N)

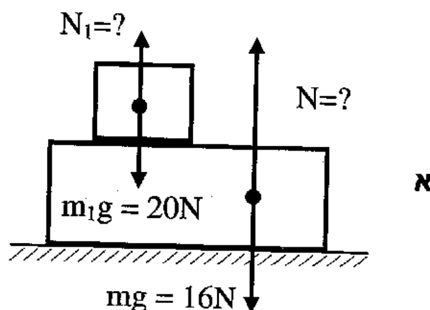


11. חשב את כוחות התגובה הפועלים על הכדור.
מסת הכדור 20kg. ($9.81 m/sec^2$)
(104.40N , 134.21N)



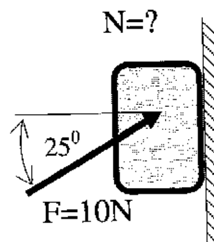
12. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על כל אחד מהגופים. (הגופים נמצאים במצב שיווי משקל)



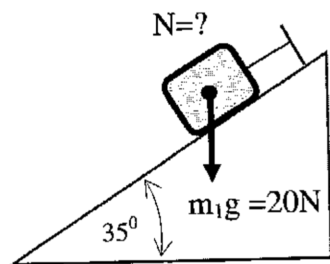


(N_1=16.58N , N=29.58N .ב N_1=20N , N=36N .א)

13. חשב את גודל הכוח הנורמלי. הנח כי המישורים חלקים (הגופים נמצאים במצב שיווי משקל).



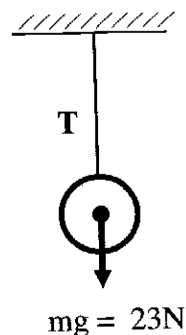
א



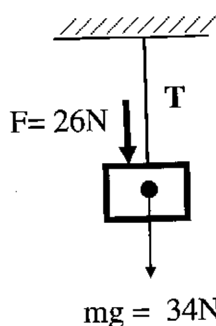
ב

(א. 9.06N, ב. 16.38N)

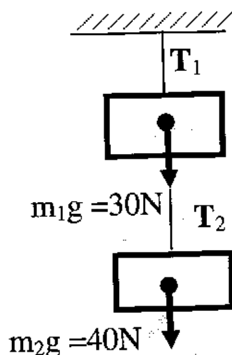
14. חשב את כוח המתיחות T, שפועל על הגוף במקרים הבאים:



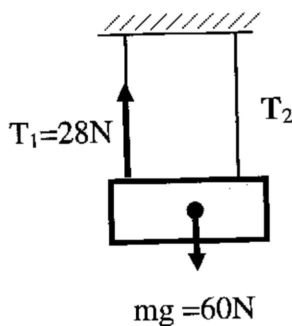
א



ב



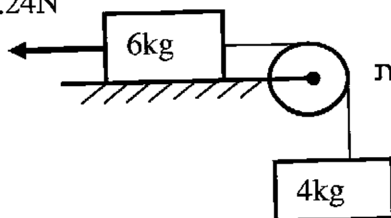
ג



ד

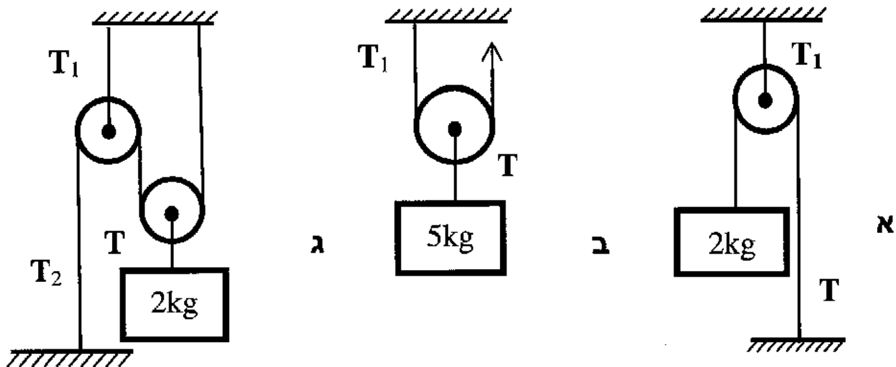
(א. T=23N, ב. T=60N, ג. T_1=70N, T_2=40N, ד. T_2=32N)

15. מערכת הגופים המתוארת באיור הבא נמצאת במנוחה. המישור האופקי חלק. מהם הכוח הנורמלי, כוחות הכבידה וכוחות המתיחות הפועלים על הגופים?



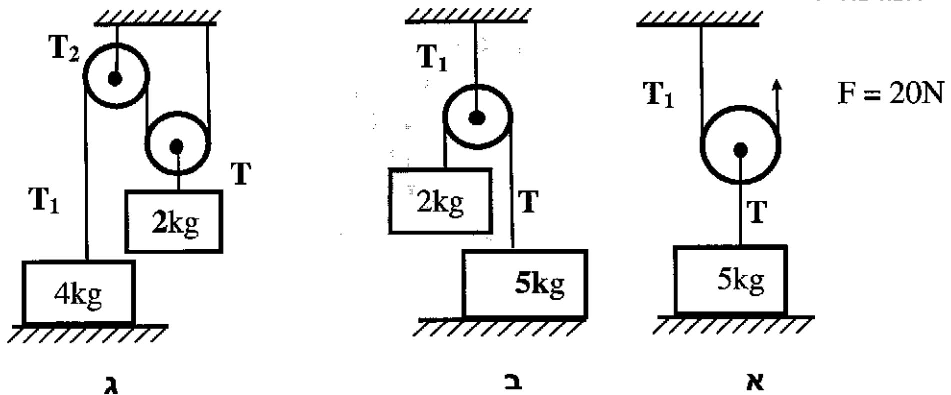
(N=58.86N, m_1g=58.86N, m_2g=39.24N, T=39.24N)

16. הגופים שבאיור למטה נמצאים במצב מנוחה. מהם כוחות המתיחות?



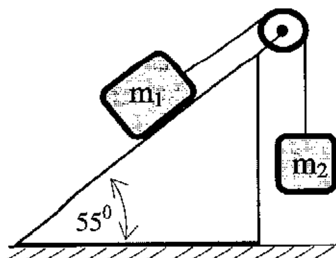
(א. $T=19.62N$, $T_1=39.24N$, ב. $T=49.05N$, $T_1=24.53N$
ג. $T=19.62N$, $T_1=19.62N$, $T_2=9.81N$)

17. הגופים שבאיור למטה נמצאים במצב מנוחה. מהם כוחות המתיחות ומהו הכוח הנורמלי?



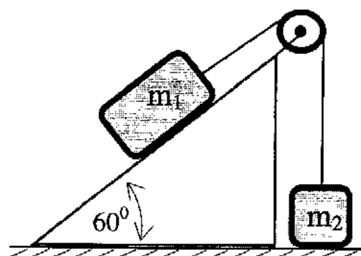
(א. $T_1=20N$, $T=40N$, $N=9.05N$, ב. $T=19.62N$, $T_1=39.24N$, $N=29.43N$
ג. $T=19.62N$, $T_1=9.81N$, $T_2=19.62N$, $N=29.43N$)

18. הגופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_1=2kg$

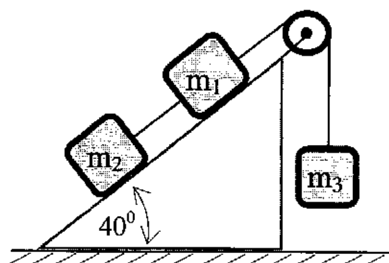


א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסה הגוף m_2 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי?

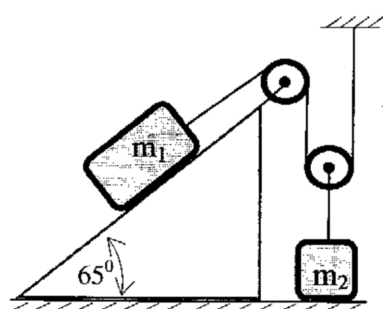
(א. $T=16.07N$, ב. $m_2=1.64kg$,
ג. $N_1=11.25N$)



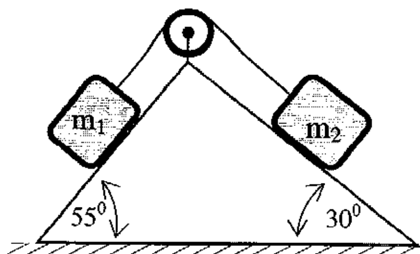
19. גופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_1 = 2kg$.
א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_2 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי של כל אחד משני הגופים?
(א. $T = 16.99N$, ב. $m_2 \geq 1.73kg$,
ג. $N_1 = 9.81N$, $N_2 \geq 16.99N$)



20. הגופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_1 = 1kg$, $m_3 = 3kg$.
א. מהם כוחות המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_2 ?
ג. מהם הכוחות הנורמל ?
(א. $T_{1,3} = 29.43N$, $T_{1,2} = 29.43N$
ב. $m_2 = 0.93kg$,
ג. $N_1 = 7.51N$, $N_2 = 7.00N$)



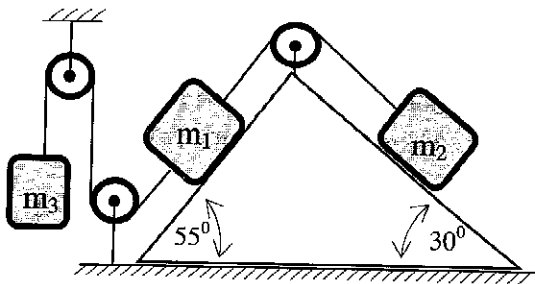
21. הגופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_2 = 2kg$.
א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_2 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי של כל אחד משני הגופים?
(א. $T_1 \leq 29.43N$, $T_2 = 19.62N$
ב. $m_2 \leq 1.10kg$,
ג. $N_1 \leq 19.62N$, $N_2 \leq 0.47N$)



22. הגופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_1 = 2kg$
א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_2 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי של כל אחד משני הגופים?

(א. $T = 16.07N$, ב. $m_2 = 3.28kg$,
ג. $N_1 = 11.25N$, $N_2 = 27.84N$)

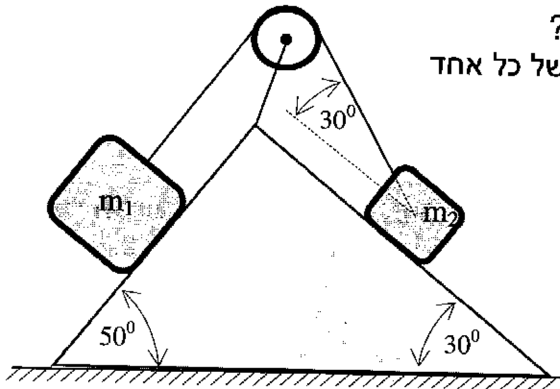
23. הגופים שבאיור נמצאים במצב מנוחה. $m_2 = 10kg$, $m_3 = 3kg$



א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_3 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי של כל אחד משלושת הגופים?

(א. $T_{1,3} = 29.43N$, $T_{1,2} = 49.05N$ ב. $m_2 = 2.44kg$,
ג. $N_1 = 13.73N$, $N_2 = 84.96N$)

24. הגופים שבאיור למטה נמצאים במצב מנוחה על פני מישורים חלקים. $m_1 = 1.2kg$
א. מהו כוח המתיחות?
ב. מהי מסת הגוף m_2 ?
ג. מהו הכוח הנורמלי של כל אחד משני הגופים?



(א. $T = 9.02N$, ב. $m_2 = 1.59kg$, ג. $N_1 = 7.57N$, $N_2 = 9.02N$)

25. גוף שמסתו 25kg נמצא על פני משור אופקי. מושכים אותו כלפי מעלה באמצעות קפיץ, שהקבוע שלו הוא 200N/m. התארכות הקפיץ היא 0.4m .
מהו הכוח הנורמלי? (165.25N)

כוח חיכוך סטטי

1. הכוח המינימאלי הדרוש להזזת גוף שווה 150N . מסת הגוף 50kg .
מהו מקדם החיכוך הסטטי? ($\mu_S = 0.31$)

2. מקדם החיכוך הסטטי בין גוף לבין משטח $\mu_S = 0.4$. הכוח הנורמלי שווה 60N.
מהו כוח החיכוך הסטטי המרבי? (24N)

3. הכוח המינימאלי הדרוש להזזת גוף שווה 100N . מקדם החיכוך הסטטי בין הגוף לבין המשטח $\mu_S = 0.2$.
   א. מהו הכוח הנורמלי? (500N)
   ב. מהי מסת הגוף? (51kg)

4. על גוף הנמצא על מישור אופקי מחוספס מופעל כוח אופקי של 10N. הגוף נמצא במנוחה. מהו כוח החיכוך הסטטי? (10N)

5. על גוף הנמצא לאורך מישור אופקי מחוספס מופעל כוח אופקי באמצעות קפיץ שקבוע 300N/m. התארכות הקפיץ 0.2m. הגוף נמצא במצב מנוחה.
   א. מהו הכוח האלסטי? (60N)
   ב. מהו כוח החיכוך הסטטי? (60N)

כוח חיכוך קינטי

1. הכוח הנורמלי הפועל על גוף נע שווה 50N. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור אופקי 0.4. מהו כוח החיכוך? (20N)

2. על גוף הנע על פני מישור אופקי פועל כוח חיכוך של 20N. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.2. מהו הכוח הנורמלי? (100N)

3. הכוח הנורמלי הפועל על גוף שווה 100N. כוח החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 30N. מהו מקדם החיכוך הקינטי? ($\mu_k = 0.3$)

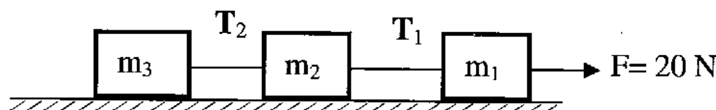
4. מקדם החיכוך הקינטי של זכוכית על זכוכית הוא 0.4 . מהו הכוח האופקי F הדרוש להניע מסה של 1kg זכוכית במהירות קבועה על פני מישור זכוכית אופקי? (3.92N)

5. מגנט, שמסתו 0.4kg עשוי פלדה, והוא נדבק ללוח פלדה אנכי ולא זז. המגנט התחיל לרדת כלפי מטה במהירות קבועה, כאשר שמו עליו משקולת שמסתה 0.34kg . מהו הכוח המגנטי ? מקדם החיכוך של פלדה על גבי פלדה 0.25.
(29.04N)

6. גוף שמסתו 34kg נע על פני מישור אופקי. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור הוא 0.24. מהו כוח החיכוך? (80.05N)

7. כוח אופקי של 4N מושך גוף שמסתו 25kg על פני מישור אופקי במהירות קבועה.
א. מהו כוח החיכוך?
ב. מהו מקדם החיכוך?
(א. 4N , ב. $\mu_k = 0.016$)

8. מערכת הגופים המתוארת באיור הבא נעה במהירות קבועה. מהם כוחות המתיחות וכוחות החיכוך הפועלים על הגופים?
$m_3 = 5kg, m_2 = 2kg, m_1 = 3kg$



(F_{k3}=10N , F_{k2}=4N , F_{k1}=6N ,T_2=10N , T_1=14N)

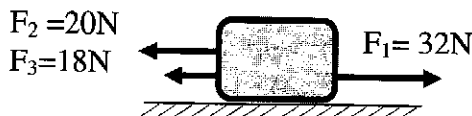
החוק הראשון של ניוטון

1. על גוף הנע במהירות קבועה פועלים שני כוחות. גודל אחד מהכוחות שווה 4N. מהו הכוח השני? (-4N)

2. על גוף, הנע במהירות קבועה, פועלים שלושה כוחות, הנמצאים על אותו הקו. אחד מהכוחות גודלו 4N , הכוח השני במגמה הפוכה וגודלו 7N. מהו הגודל והכיוון של הכוח השלישי?
(3N בכיוון של כוח 4N)

3. גוף נע במהירות 4m/sec לאורך מסלול מעגלי. מהו סוג התנועה? (מואצת)

4. הגוף המתואר באיור הבא נע במהירות קבועה. על הגוף פועלים ארבע כוחות. מהו הכיוון והגודל של הכוח הרביעי?
(6N בכיוון של כוח F_1)



5. גוף, שמסתו 5kg, נמשך לאורך מישור אופקי מחוספס במהירות קבועה באמצעות קפיץ, שקבוע 60N/m . התארכות הקפיץ 0.2m.
א. מהו הכוח האלסטי?
ב. מהו מקדם החיכוך הקינטי?
(א. 12N , ב. μ_k =0.24)

12. גוף, שמסתו 10kg, נמשך לאורך מישור אופקי מחוספס במהירות קבועה באמצעות קפיץ, שקבוע 500N/m. מקדם החיכוך הקינטי 0.4.
א. מהו כוח החיכוך הקינטי?
ב. מהי התארכות הקפיץ? (א. 39.24N , ב. 0.078m)

13. גוף נמשך לאורך מישור אופקי מחוספס במהירות קבועה באמצעות קפיץ, שקבוע 500N/m. התארכות הקפיץ 0.2m. מקדם החיכוך הקינטי 0.3 .
א. מהו הכוח האלסטי ?
ב. מהי מסה הגוף? (א. 100N , ב. 33.98kg)

החוק השני של ניוטון

1. כוח של 3N פועל על גוף שמסתו 12kg. מהי תאוצת הגוף? ($0.25m/sec^2$)

2. גוף שמסתו 2kg נע בתאוצה של $5m/sec^2$. מהו הכוח שפועל עליו? (10N)

3. כוח של 6N מביא גוף לתאוצה של $3m/sec^2$. מהי מסת הגוף ? (2kg)

4. שני כוחות 12N ו – 14N פועלים על גוף הנמצא על משטח אופקי חלק. מסת הגוף 10kg. מהי תאוצת הגוף כאשר שני הכוחות פועלים :
א. באותו כיוון ובמקביל לפני המשטח?
ב. בכיוונים מנוגדים ובמקביל לפני המשטח?
(א. $2.6m/sec^2$, ב. $0.2m/sec^2$)

5. כוח של 20N מושך גוף שמסתו 30kg לאורך מישור אופקי. תאוצת הגוף $0.6m/sec^2$. מהו כוח החיכוך? (2N)

6. גוף, שמסתו 6kg, קשור לחבל ועולה בתאוצה של $1.5m/sec^2$.
מהו כוח המתיחות בחבל? (67.86N)

7. גוף, שמסתו 3kg, קשור לחבל ויורד בתאוצה של $5m/sec^2$.
מהו כוח המתיחות בחבל? (14.43N)

8. גוף, שמסתו 4kg, קשור לחבל ונע כלפי מעלה . כוח המתיחות בחבל 60N.
מהי תאוצת הגוף? ($5.19m/sec^2$)

9. גוף, שמסתו 16kg, קשור לחבל ונע כלפי מטה. הכוח המרבי של המתיחות בחבל 200N.
   א. מהי תאוצתו המרבית, אם הגוף עלה 10m?
   ב. כמה זמן נמשכה עלייה?
   (א. $2.69m/sec^2$, ב. t=273sec)

10. גוף, שמסתו 8kg, קשור לחבל ונע כלפי מטה. כוח המתיחות בחבל 60N.
   מהי תאוצת הגוף? ($a= 2.31m/sec^2$)

11. גוף, שמסתו 3kg, נמשך לאורך מישור אופקי חלק באמצעות קפיץ, שקבוע 60N/m. התארכות הקפיץ 0.1m. מהי תאוצת הגוף? ($a = 2m/sec^2$)

12. גוף, שמסתו 5kg, נמשך לאורך מישור אופקי מחוספס באמצעות קפיץ, שקבוע 60N/m. התארכות הקפיץ 0.2m. גודל כוח החיכוך 10N.
   מהי תאוצת הגוף? ($a = 0.4m/sec^2$)

13. גוף, שמסתו 2kg, נמשך לאורך מישור אופקי מחוספס באמצעות קפיץ. תאוצת הגוף $a =1.5m/sec^2$. התארכות הקפיץ 0.25m. גודל כוח החיכוך 4N. מהו קבוע הקפיץ? (k= 28N/m)

14. שני כוחות אופקיים פועלים על גוף שמסתו 4kg לאורך מישור אופקי מחוספס. תאוצת הגוף $6m/sec^2$. גודל הכוח האחד $F_1= 12N$. מהו כוח F_2 (ישנם שני פתרונות אפשריים)?
   (12N או 36N)

15. כוח של 5N פועל על גוף שמסתו 2kg לאורך מישור אופקי מחוספס. תאוצת הגוף $4m/sec^2$.
   א. מהו כוח החיכוך הקינטי הפועל על הגוף? (ישנן שתי אפשרויות)
   ב. מהו מקדם החיכוך? (ישנן שתי אפשרויות)
   (א. 3N או 13N ב. $\mu_k= 0.15$ או $\mu_k= 0.66$)

16. גליל שמסתו 2kg יורד בתוך צינור ארוך. על הגליל פועל כוח חיכוך קינטי השווה ל - 18N. מהי תאוצת הגליל? ($0.81m/sec^2$)

17. בוכנה, שמסתה 2kg, נמשכת כלפי מעלה באמצעות קפיץ בתוך צילינדר. על הבוכנה פועל כוח חיכוך של 5N. קבוע הקפיץ 200N/m. התארכות הקפיץ 0.2m. מהי תאוצה הבוכנה? ($7.69m/sec^2$)

18. איזה כוח גורם לגוף שמסתו 2kg לנוע כלפי מטה בתאוצה $6m/sec^2$? (7.62N)

19. אדם, שמסתו 80kg, עומד על מאזני קפיץ במעלית. מחוג המאזניים מורה על 820N . מהם הגודל והכיוון של התאוצה של המעלית?
($0.44m/sec^2$ כלפי מעלה)

20. אדם שמסתו 60kg עומד במעלית . חשב מהו הכוח הנורמלי כאשר:
א. המעלית עולה במהירות קבועה?
ב. המעלית יורדת בתאוצה של $0.6m/sec^2$?
ג. המעלית עולה בתאוצה של $2m/sec^2$?
(א. 588.6N , ב.552.6N , ג. 708.6N)

החוק השלישי של ניוטון

1. האם כוחות ה"פעולה" ו- ה"תגובה" מבטלים זה את זה? נמק!

2. על פי החוק השלישי של ניוטון, כוח, בו אדם מושך עגלה שווה, לכוח, אותו העגלה מפעילה על האדם . מדוע העגלה נעה בכיוון תנועתו של האדם ולא להפך?

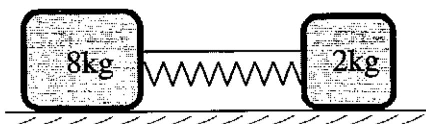
3. הכוח הנורמלי הפועל על גוף המונח על מישור שווה 20N . מהו הכוח שהגוף מפעיל על תמיכתו? (20N)

4. גוף, שמסתו 10kg, מונח על מישור אופקי. מהו הכוח הנורמלי ומהו הכוח אותו הגוף מפעיל על תמיכתו? (98.1N)

5. גוף, שמסתו 3kg, תלוי על קפיץ במצב שיווי משקל . מהו הכוח האלסטי הפועל על הגוף, ומהו הכוח שבו הגוף מושך את הקפיץ? (29.43N)

6. גוף, שמסתו 2kg, נמצא על מישור אופקי, ונגרר על ידי כוח של 14N במהירות קבועה. מהם כוחות החיכוך הפועלים על הגוף ועל המישור? (14N)
7. מגנט, שמסתו 4kg, מושך גוש ברזל,שמסתו 3kg, בכוח של 20N . מהו הכוח שבו גוש הברזל מושך את המגנט? (20N)

8. שני גופים $m_1 = 2kg$ ו- $m_2 = 8\ kg$ נמצאים במנוחה על פני מישור אופקי חלק . בין הגופים נמצא קפיץ מכווץ, ושני גופים קשורים בחוט המונע את התפשטות הקפיץ . לאחר שחותכים את החוט, גוף שמסתו $m_1 = 2kg$ נע בתאוצה $6m/sec^2$. מהי התאוצה של הגוף שמסתו $m_2 = 8kg$ (מסת הקפיץ זניחה) ? ($1.5m/sec^2$)



9. מושכים שני קפיצים המחוברים זה לזה. קבוע אחד הקפיצים 200N/m והתארכותו 0.2m. קבוע הקפיץ השני 250N/m.
מהי התארכות הקפיץ השני? (0.16m)

10. פגז, שמסתו 5kg, נע בקנה התותח בתאוצה של $200,000m/sec^2$. מהו הכוח הפועל על התותח? (1,000,000N)

11. בתאונת דרכים התנגשו שתי מכוניות זהות בהתנגשות חזיתית. אחת מהן הייתה עמוסה? לאיזה מהן תוצאות ההתנגשות חמורות יותר? נמק!

חוקי ניוטון ותנועה שוות תאוצה

1. כוח לא ידוע משך גוף ממצב מנוחה בכיוון האופקי. לאחר 3sec מתחילת תנועתו מהירות הגוף הייתה 6m/sec. מסת הגוף 10kg.
   א. מהי תאוצת הגוף?
   ב. מהו גודל הכוח?
   ג. מהו המרחק שעבר הגוף לאחר 3sec ?
   (א. $2m/sec^2$, ב. 20N, ג. 9m)

2. כוח של 2.4N פועל על גוף שמסתו 6kg במשך 5sec. לפני פעולת הכוח הגוף נע במהירות 4m/sec.
   א. מהי תאוצת הגוף?
   ב. מהי מהירות הגוף לאחר 10sec ?
   ג. מהו המרחק שעבר הגוף לאחר 10sec ?
   (א. $0.4m/sec^2$, ב. 8m/sec, ג. 60m)

3. כוח של 30N פועל על גוף שמסתו 15kg.
   א. כמה זמן הכוח צריך לפעול על הגוף כדי להביאו ממהירות 2m/sec למהירות 12m/sec ?
   ב. מהי מהירות הגוף במרחק 120m מנקודת היציאה?
   (א. 5sec, ב. 22m/sec)

4. גוף שמסתו 2kg נע על פני שולחן אופקי בתאוצה של $3m/sec^2$. על גוף פועל כוח חיכוך השווה 5N.
   א. מהו גודל הכוח שפועל על הגוף?
   ב. איזה מרחק עבר הגוף במשך 6sec, אם ברגע $t_0 = 0$ מהירות הגוף הייתה 4m/sec ?
   (א. 6N, ב. 78m)

5. כוח של 3N מושך גוף שמסתו 5kg על פני מישור אופקי. על הגוף פועל כוח חיכוך של 1N . לפני פעולת הכוח הגוף היה במנוחה.
א. מהי תאוצת הגוף?
ב. מהי מהירות הגוף לאחר 10sec ?
(א. $0.4m/sec^2$, ב. 4m/sec)

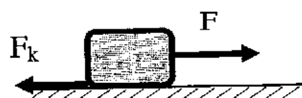
6. גוף שמסתו 3kg נמשך על פני מישור אופקי בכוח F =18N. תאוצת הגוף $2m/sec^2$.
א. מהו גודל של כוח החיכוך בין הגוף למישור?
ב. מהו מקדם החיכוך?
(א. 12N , ב. $\mu_k = 0.41$)

7. מהי התאוטה המרבית של רכב בעת הבלימה, אם מקדם החיכוך הסטטי בין האספלט והצמיג של הרכב הוא 0.8. ($a= - 7.45m/sec^2$)

8. כוח לא ידוע מושך גוף שמסתו 2kg על פני מישור אופקי בתאוצה של $2 m/sec^2$. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור האופקי 0.23 .
א. מהו כוח החיכוך?
ב. מהו הכוח הפועל על הגוף?
(א. 4.51N , ב. 8.51N)

9. גוף, שמסתו 25kg, נמשך על ידי קפיץ במהירות קבועה. קבוע הקפיץ 200N/m . מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור האופקי 0.4.
א. מהו כוח החיכוך?
ב. מהי התארכות הקפיץ?
(א. 98.1N , ב. 0.49m)

10. כוח של 150N מושך גוף שמסתו 20kg על פני מישור אופקי, כמתואר באיור הבא. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור האופקי 0.3 .
א. מהו כוח החיכוך?
ב. מהי תאוצת הגוף?
(א. 58.86N , ב. $4.56m/sec^2$)



11. גוף, שמסתו 0kg, נע על פני מישור אופקי חלק בתאוצה של $5m/sec^2$. הגוף נמשך על ידי קפיץ שקבוע 800N/m.
א. מהי התארכות הקפיץ?
ב. מהי תהיה התארכות הקפיץ, אם המישור אינו חלק ומקדם החיכוך 0.2?
(א. 0.125, ב. 0.174m)

12. מכונית שמסתה 1200kg נוסעת במהירות של 25m/sec. בזמן הבלימה על מכונית פועל כוח חיכוך של 8000N.

א. חשב מהי תאוצת (תאוטת) הבלימה?
ב. מהו משך זמן הבלימה?
ג. מהו מרחק העצירה?

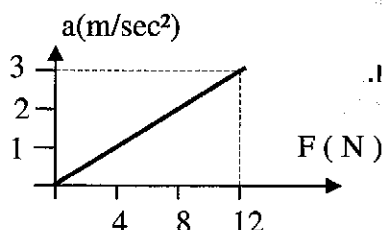
(א. $6.67m/sec^2$, ב. 3.75sec, ג. 46.88m)

13. גוף, שמסתו 8kg, נע במהירות קבועה של 25m/sec במשך 8sec. ברגע t=8sec מתחיל לפעול עליו כוח של 4N בכיוון הנגדי לכיוון תנועתו.

א. מהי תאוצת הגוף?
ב. מהו הזמן הדרוש לעצירת הגוף?
ג. מהי מהירות הגוף ברגע t = 12sec ?
ד. איזה מרחק עבר הגוף מרגע $t_0 = 0$ עד לעצירה המלאה?

(א. $-0.5m/sec^2$, ב. 50sec, ג. 32m/sec, ד. 809m)

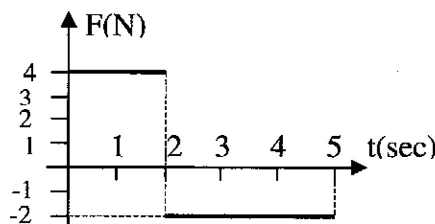
14. באיור נתון גרף המתאר תאוצת גוף, שהיה במנוחה, כפונקציה של הכוח שפעל עליו.
חשב את המסה m של הגוף.
(m=4kg)



15. הגרף שלפניך מתאר את הכוח, המשתנה עם הזמן, הפועל על גוף, שמסתו m=2kg.
ברגע $t_0=0$ הגוף נע במהירות 2m/sec.

א. חשב את תאוצת הגוף בשני פרקי הזמן השונים.
ב. חשב את מהירות הגוף ברגע t= 5sec.
ג. חשב את המרחק שהגוף עבר עד t= 5sec.

(א. $-1m/sec^2$, $2m/sec^2$
ב. 3m/sec, ג. 21.5m)



16. כוח אופקי F פועל על גוף הנמצא על שולחן אופקי חלק. בטבלה שלפניך מופיעות תוצאות מדידה של הכוח F ותאוצה a של הגוף .

א. סרטט גרף המתאר את התאוצה a של הגוף כפונקציה של הכוח **F**.
ב. חשב על פי הגרף את מסת הגוף.
ג. הניחו על הגוף משקולת, שמסתה 2kg, והפעילו על הגוף כוח אופקי שגרם לתאוצה של $4m/sec^2$. חשב את גודל הכוח.

F (N)	1	2	3	4	5
$a(m/sec^2)$	4	8	12	16	20

(ב. 0.25kg, ג. 9N)

17. מעלית, שמסתה m= 800kg, מתחילה לעלות בתאוצה קבועה של $a=0.6m/sec^2$ במשך 4sec. לאחר מכן היא נעה במהירות קבועה במשך 10sec, ואז היא נעצרת (בתנועה שוות תאוצה) תוך 3sec.

א. סרטט גרף של מהירות המעלית כפונקציה של הזמן.
ב. איזה מרחק עברה המעלית?
ג. מהו כוח המתיחות של החבל הנושא את המעלית, בכל אחד משלושת פרקי הזמן?

(ב. 32.4m, ג. 8328N , 0 , 7208N)

18. גוף שמסתו 3kg נע במהירות 20m/sec. ברגע $t_0=0$ מופעל על הגוף כוח אופקי בכיוון הנגדי לכיוון תנועת הגוף, שגורם לגוף תאוטה של $4m/sec^2$.

א. מהו גודל הכוח?
ב. כמה זמן דרוש לגוף לעבור מרחק של 32m?
ג. מהי מהירות הגוף במרחק 42m מנקודת היציאה?

(א. 12N, ב. 2sec , ג. 8 m/sec)

19. כוח אופקי קבוע **F** פועל גוף שמסתו m=2kg במשך t = 5sec. לפני הפעלת הכוח הגוף נע במהירות של 2m/sec וכעבור 5sec הגוף הגיע למהירות של 8m/sec .
מקדם החיכוך בין הגוף למשטח הוא μ_k =0.1 .

א. מהו הגודל של הכוח F ?
ב. איזו דרך עבר הגוף בזמן שהכוח F פעל עליו?
ג. לאחר כמה זמן , מרגע הפסקת פעולת הכוח F , יעצור הגוף?

(א. 12N , ב. 2sec , ג. 8m/sec)

20. רכב, המתחיל את תנועתו ממצב מנוחה, מגיע למהירות 20m/sec תוך 5sec .

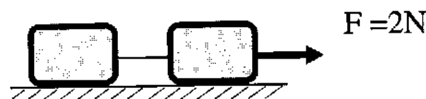
א. מהו מקדם החיכוך?
ב. מהו המרחק שיעבור עד לעצירה, אם לאחר 5sec הנהג כיבה את המנוע ולחץ על הבלמים? (א. μ_k= 0.41, ב. 100m)

21. גוף, שמסתו 5kg, נמצא במנוחה על פני משטח אופקי חלק. ברגע $t_0 = 0$ החל לפעול על הגוף כוח אופקי קבוע שגודלו 10N, וברגע t = 20sec הכוח חדל לפעול.
א. חשב את תאוצת הגוף בשני פרקי הזמן.
ב. חשב מהי מהירות הגוף ברגע t = 20sec ומהו המרחק שהוא עבר?
ג. איזו דרך עבר הגוף במשך 50sec מתחילת תנועתו?
(א. $2m/sec^2$, ב. 400m, 40m/sec , ג. 1600m)

22. גוף שמסתו 4kg הונח על משטח אופקי. מקדם החיכוך בין הגוף למשטח 0.1. כוח אופקי קבוע של 6N פעל על גוף במשך 10sec. ברגע t = 10sec הכוח חדל לפעול.
א. מהי תאוצת הגוף בזמן פעולת הכוח?
ב. מהי תאוצת הגוף לאחר שנפסקה פעולת הכוח והגוף עדיין נע?
ג. מצא את מהירות הגוף ברגע שבו הכוח הפסיק לפעול.
ד. כעבור כמה זמן מרגע הפסקת פעולת הכוח יעצור הגוף?
(א. $0.52m/sec^2$, ב. $-0.98m/sec^2$, ג. 5.19m/sec , ד. 5.30sec)

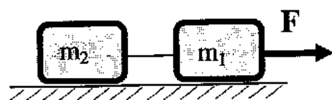
תנועת גופים קשורים

1. שני גופים, שמסת כל אחד מהם 4kg, קשורים זה לזה בחוט, כמתואר בתרשים. הגוף הראשון נמשך על-ידי כוח אופקי של F=2N, כך שהגופים מחליקים על פני מישור אופקי חלק (ללא חיכוך).



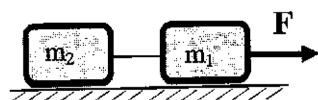
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט
(א. $0.5m/sec^2$, ב. 2N)

2. שני גופים $m_1 = 4kg$ ו- $m_2 = 6kg$, קשורים זה לזה בחוט, כמתואר בתרשים. הגוף הראשון נמשך על- ידי כוח אופקי, כך שהגופים מחליקים על פני מישור אופקי חלק, ותאוצת המערכת היא $3m/sec^2$.

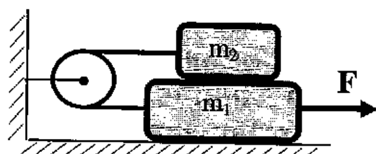


א. מהו הכוח המושך את הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. 30N, ב. 18N)

3. שני גופים, $m_1=4kg$ ו- $m_2=8kg$, קשורים זה לזה בחוט, כמתואר בתרשים. הגוף הראשון נמשך על- ידי כוח אופקי של F = 12N. מקדם החיכוך הקינטי בין הגופים לבין המישור 0.1.



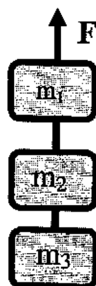
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח מתיחות בחוט?
(א. $0.019m/sec^2$, ב. 8N)



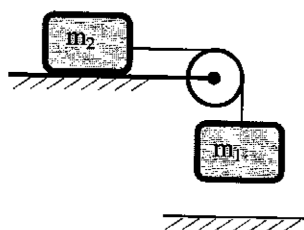
4. נתונה מערכת גופים $m_1 = 3kg$ ו – $m_2 = 1kg$.
מקדם החיכוך הקינטי 0.5.
מהי תאוצת הגופים, אם על הגוף התחתון
פועל כוח $F = 30N$?
($0.14m/sec^2$)



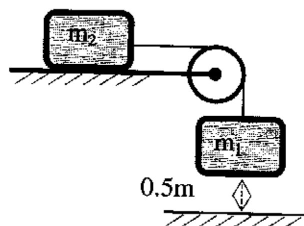
5. שני גופים, $m_1=2kg$ ו- $m_2=5kg$, קשורים זה לזה בכבל,
שמסתו 3kg. כוח $F = 120N$ מושך את הגוף, שמסתו
2kg, כלפי מעלה.
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהו הכוח הפועל על הגוף שמסתו 5kg ?
ג. מהו הכוח בו הכבל מושך את הגוף, שמסתו 2kg?
(א. $2.19m/sec^2$, ב. 60N ג. 96N)



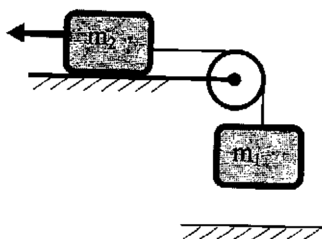
6. שלושה גופים, $m_1=3kg$, $m_2=2kg$ ו- $m_3=5kg$, קשורים זה לזה.
כוח המתיחות הפועל על הגוף, שמסתו 5kg, שווה ל - 40N.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו גודל הכוח F ?
ג. מהו כוח המתיחות הפועל על הגוף, שמסתו 3kg?
(א. $1.81m/sec^2$, ב. 80N ג. 85.43N)



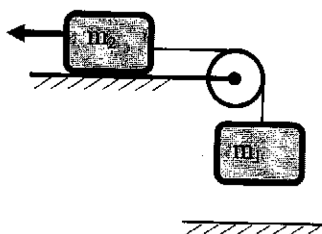
7. שני גופים, $m_1= 4kg$ ו- $m_2= 6kg$, קשורים
זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת ,
כמתואר בתרשים. הנח כי מסות
החוט והגלגלת זניחות.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $3.92m/sec^2$, ב. 23.54N)



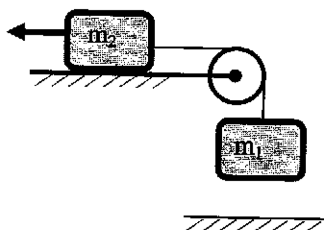
8. שני גופים, $m_1= 1kg$ ו- $m_2=4kg$, קשורים זה
לזה בחוט העובר גלגלת כמתואר בתרשים.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
ג. הגוף הקטן, שמסתו 1kg, נמצא בגובה של
0.5m מעל הרצפה. כעבור כמה זמן
מתחילת התנועה הגוף הקטן יפגע ברצפה?
(א. $1.96m/sec^2$, ב. 7.85N ג. 0.71sec)



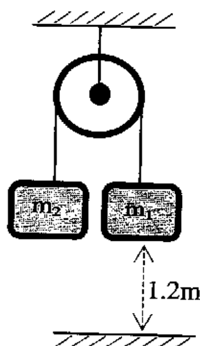
9. שני גופים, $m_1= 1kg$ ו- $m_2=3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת כמתואר בתרשים. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף שמסתו 3kg לבין המישור 0.3 .
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $0.25\ m/sec^2$, ב. 9.56N)



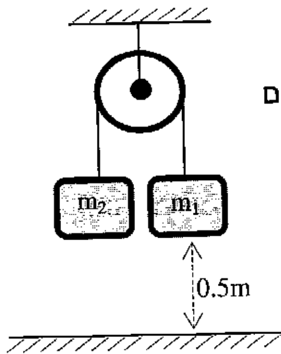
10. שני גופים, $m_1= 2kg$ ו- $m_2= 3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת כמתואר בתרשים. על הגוף, שמסתו 3kg, פועל כוח אופקי של 30N.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $2.60m/sec^2$, ב. 24.81N)



11. שני גופים, $m_1= 1kg$ ו- $m_2=3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת כמתואר בתרשים. על הגוף, שמסתו 3kg, פועל כוח אופקי של 25N. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף שמסתו 3kg לבין המישור 0.4.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $0.85m/sec^2$, ב. 10.66N)



12. שני גופים, $m_1= 1.5kg$ ו- $m_2=1kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר בתרשים. משחררים את המערכת ממנוחה. שני הגופים נמצאים בגובה 1.2m מעל הקרקע.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
ג. כמה זמן יחלוף מרגע השחרור ועד פגיעת הגוף הגדול בקרקע?
(א. $1.96\ m/sec^2$, ב. 11.77N, ג. 1.11sec)



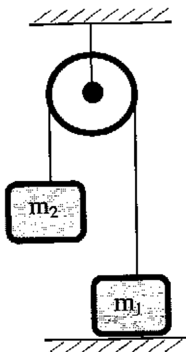
13. שני גופים, $m_1= 7kg$ ו- $m_2=3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר בתרשים. שני הגופים נמצאים בגובה 0.5m מעל הקרקע. מעניקים לגוף שמסתו 3kg מהירות של 1m/sec כלפי מטה.

א. מהי תאוצת הגופים?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

ג. כעבור כמה זמן יפגע הגוף הגדול בקרקע?

(א. $3.92m/sec^2$, ב. 41.20N, ג. 0.82sec)



14. שני גופים, $m_1= 8kg$ ו $m_2=2kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר בתרשים. מעניקים לגוף, שמסתו 8kg, מהירות של 10m/sec כלפי מעלה.

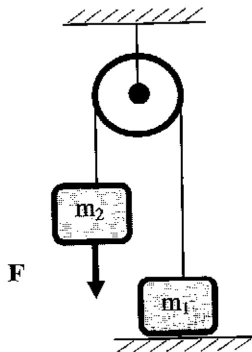
א. מהי תאוצת הגופים?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

ג. לאיזה גובה מרבי מעל הרצפה יגיע הגוף הגדול?

ד. כעבור כמה זמן יפגע הגוף הגדול בקרקע?

(א. $5.89m/sec^2$, ב. 31.39N, ג. 8.49m, ד. 3.40sec)



15. שני גופים, $m_1= 2kg$ ו- $m_2=8kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר בתרשים. כוח F= 65N פועל על גוף שמסתו במשך 2sec.

א. מהי תאוצת הגופים?

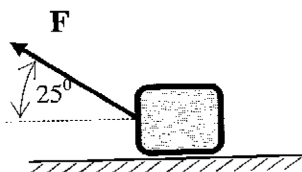
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

ג. לאיזה גובה מרבי יגיע הגוף הגדול?

ד. כעבור כמה זמן יפגע הגוף הגדול בקרקע?

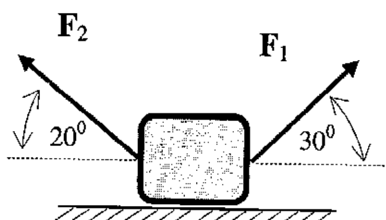
(א. $0.61m/sec^2$, ב. 83.39N, ג. 1.23m, ד. 0.89sec)

כוחות הפועלים בזווית



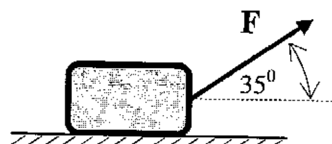
1. כוח F =24N מושך גוף שמסתו m=8kg על פני מישור חלק, כמתואר באיור. מהי תאוצת הגוף? ($a=2.72m/sec^2$)

2. שני כוחות, F_1 =40N ו - F_2 =30N, פועלים על גוף, שמסתו m=10kg, הנמצא על פני מישור חלק, כמתואר באיור. מהי תאוצת הגוף? ($a=0.645m/sec^2$)



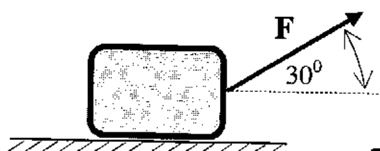
3. כוח F =56N מושך גוף, שמסתו m= 20kg, על פני מישור אופקי כמתואר באיור. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.1.
   א. מהו הכוח הנורמלי?
   ב. מהו כוח החיכוך?
   ג. מהי תאוצת הגוף?

(א. 164.08N, ב. 16.41N, ג. $1.47m/sec^2$)



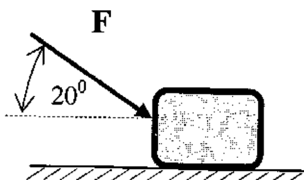
4. גוף, שמסתו m=10kg , נמשך במהירות קבועה על פני שולחן אופקי על ידי כוח F =20N, הנטוי בזווית α=30° מעל לאופק.
   א. מהו הכוח הנורמלי?
   ב. מהו כוח החיכוך?
   ג. מהו מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לשולחן?

(א. 88.10N, ב. 17.32N, ג. 0.197)



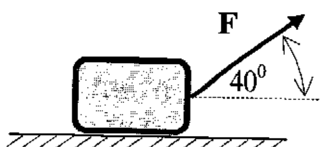
5. כוח F =30N דוחף גוף, שמסתו m=10kg, על פני מישור חלק, כמתואר באיור. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.1.
   א. מהו הכוח הנורמלי?
   ב. מהו כוח החיכוך?
   ג. מהי תאוצת הגוף?

(א. 108.36N, ב. 10.84N, ג. $1.74m/sec^2$)

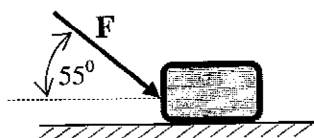


6. גוף, שמסתו m=6kg, נע על פני מישור בתאוצה $1.4m/sec^2$, כמתואר באיור. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.1. מהו גודלו של הכוח F?

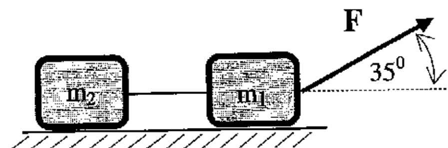
(17.21N)



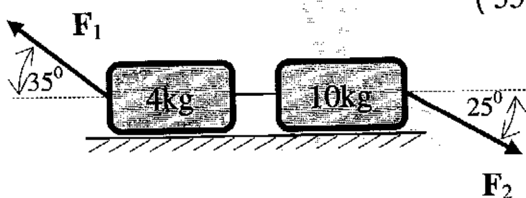
7. גוף, שמסתו m=5kg, נע על פני מישור בתאוצה $4m/sec^2$, כמתואר באיור. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.3. מהו גודלו של הכוח F ?
(105.89N)



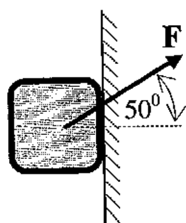
8. כוח F =40N מושך שני גופים, $m_1= 2kg$ ו- $m_2= 3kg$, על פני מישור אופקי. מקדם החיכוך בין הגופים לבין המישור 0.3 .
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $1.75m/sec^2$, ב. 14.06N)



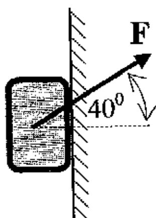
9. שני כוחות, $F_1 = 30N$ ו- $F_2 = 80N$, פועלים על שני גופים, הנמצאים על פני מישור אופקי, כמתואר באיור. מקדם החיכוך בין הגופים לבין המישור 0.2.
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $1.22m/sec^2$, ב. 33.88N)

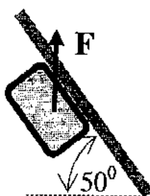


10. כוח בגודל 40N מושך גוף, שמסתו 2kg, על פני מישור אנכי. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור 0.3.
א. מהו הכוח הנורמלי?
ב. מהי תאוצת הגוף?
(א. 25.71N, ב. $1.65m/sec^2$)

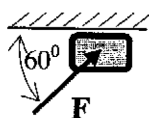


11. כוח בגודל 10N מושך גוף, שמסתו 3kg, על פני מישור אנכי. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור 0.2.
א. מהו הכוח הנורמלי?
ב. מהי תאוצת הגוף?
(א. 7.66N, ב. $7.16m/sec^2$)

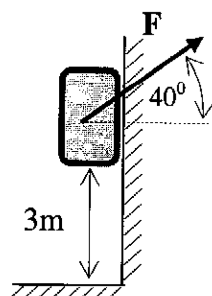




12. כוח אנכי של 30N דוחף גוף, שמסתו 3kg, על פני משטח, כמתואר באיור. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המשטח 0.2.
מהי תאוצת הגוף?
($6.37m/sec^2$)



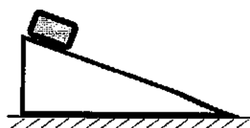
13. כוח בגודל 40N דוחף גוף שמסתו 3kg על פני משטח, כמתואר באיור. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המשטח 0.8.
מהי תאוצת הגוף?
($5.28m/sec^2$)



14. כוח בגודל 20N מתחיל לפעול על גוף, הנע כלפי מעלה לאורך קיר אנכי במהירות 2m/sec. מסת הגוף m=3Kg. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין הקיר 0.2.
א. מהי תאוצת הגוף?
ב. לאיזה גובה מרבי מגיע הגוף?
ג. כעבור כמה זמן יפגע הגוף ברצפה?
(א. $4.50m/sec^2$, ב. 3.10m, ג. 1.68sec)

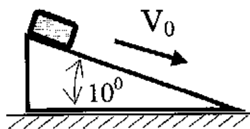


15. גוף, שמסתו 3kg, מחליק במהירות קבועה על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו שווה 30^0, כמתואר באיור.
א. מהו הכוח הנורמלי?
ב. מהו כוח החיכוך הקינטי?
ג. מהו מקדם החיכוך?
(א. 25.49N, ב. 14.72N, ג. $\mu_k = 0.5$)



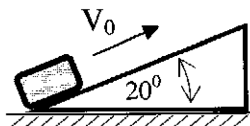
16. גוף קטן מתחיל לנוע על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו שווה 20^0. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור 0.1. אורך המישור 1.5m.
א. מהי תאוצת הגוף?
ב. מהי מהירות הגוף בסוף הירידה?
(א. $2.43m/sec^2$, ב. 2.70m/sec)

17. גוף קטן נע במורד מישור משופע במהירות התחלתית של v_0=5m/sec. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור 0.401. גובה המישור 1m .



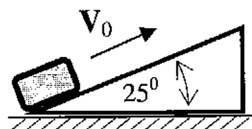
א. מהי תאוצת הגוף?
ב. מהי מהירות הגוף בתחתית המדרון?
(א. $a=-0.22m/sec^2$, ב. v=0)

18. גוף נזרק במהירות התחלתית של V_0 = 2m/sec לאורך מישור משופע חלק, שזווית הנטייה שלו 20^0.



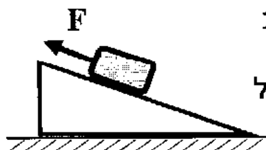
א. מצא את תאוצת הגוף.
ב. כמה זמן נמשכה העלייה?
ג. איזה מרחק עבר הגוף במשך זמן העלייה ?
(א. $3.36m/sec^2$, ב. 0.60sec, ג. 0.60m)

19. גוף נזרק במהירות התחלתית של 8m/sec לאורך מישור משופע , שזווית הנטייה היא 25^0. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.2 .



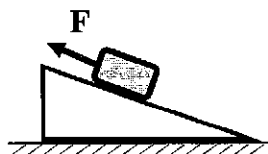
א. מצא את תאוצת הגוף .
ב. כמה זמן נמשכה עליית הגוף?
ג. איזה מרחק עבר הגוף בזמן העלייה ?
(א. $2.37m/sec^2$, ב. 3.38sec, ג. 13.50m)

20. גוף, שמסתו 3kg, נע על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו שווה 30^0. מקדם החיכוך הקינטי 0.1 . על גוף פועל כוח של F= 8N . מהו הגודל והכיוון של תאוצת הגוף?

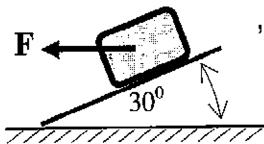


($a=1.39m/sec^2$ כלפי מטה)

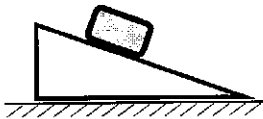
21. גוף, שמסתו 10kg, נע על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו שווה 20^0. מקדם החיכוך הקינטי 0.3 . תאוצת הגוף $a=3m/sec^2$.
מהו הכוח הפועל על גוף ?
(F=91.21N)



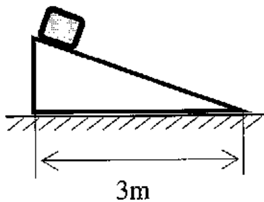
22. כוח אופקי F = 10N פועל על גוף, שמשקלו 150N.
מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור המשופע 0.3 ,
מהי תאוצת הגוף ?
($3.02m/sec^2$)



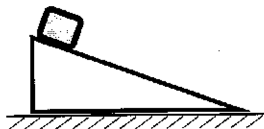
23. גוף, שמסתו 3kg, מחליק בתאוצה של $0.4m/sec^2$
על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו
שווה 30^0 , כמתואר באיור.
א. מהו כוח החיכוך הקינטי?
ב. מהו מקדם החיכוך הקינטי?
(א. 13.52N, ב. $\mu_k = 0.53$)



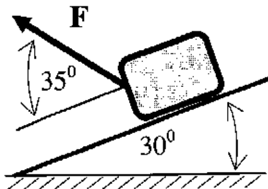
24. גוף מחליק על פני מישור משופע חלק
שאורך בסיסו 3m.
מהו משך הזמן הקטן ביותר הדרוש לגוף כדי
לרדת מהמישור?
(t = 1.11sec)



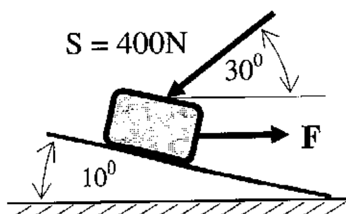
25. גוף מחליק על פני מישור משופע,
שזווית הנטייה שלו שווה 22^0
במהירות קבועה. מהו אורך המישור, אם
זמן הירידה, כאשר זווית הנטייה
של המישור 25^0 שווה ל- 2sec ?
(L = 1.11m)



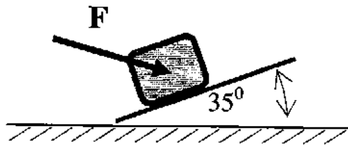
26. כוח F = 10N פועל על גוף שמשקלו 50N .
מהו מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור
המשופע , אם הגוף נע בתאוצה של $5m/sec^2$?
($\mu_k = 0.11$)



27. ארגז, שמשקלו 1000N, נמצא על פני
מישור משופע. מקדם החיכוך הקינטי בין הארגז
לבין המישור $\mu_k = 0.2$. על הארגז פועל כוח S.
מהו שיעורו של כוח אופקי F, הדרוש לתנועה
כלפי מטה בתאוצה של $2.5m/sec^2$?
(F =668.34N)



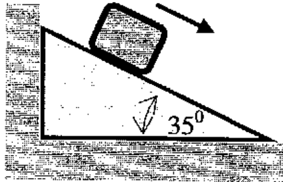
28. ארגז, שמסתו 50kg, נמצא על פני מישור משופע מחוספס. מקדם החיכוך הקינטי בין הארגז לבין המישור $\mu_k = 0.1$. על הארגז פועל כוח **F** הנטוי בזווית 10^0 לקו האופק. מהו גודל הכוח F, אם הגוף יורד בתאוצה של $0.2m/sec^2$.
(F =225.07N)



29. גוף קטן נמצא על פני מישור משופע, שזווית הנטייה שלו שווה 20^0. מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור 0.6. מהו הערך המינימאלי של תאוצת של המערכת, בה גוף הקטן לא יחליק ימינה על פני המישור? ($a=12.10m/sec^2$)



30. גוף, שמסתו 5kg, מחליק על פני יתד חלק. היתד נמצא על פני מישור אופקי חלק וצמוד לקיר אנכי.
א. מהו כוח התגובה של הקיר?
ב. מהו כוח התגובה של הקיר, אם מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המישור 0.2.
(א. R=23.05N, ב. R=16.47N)

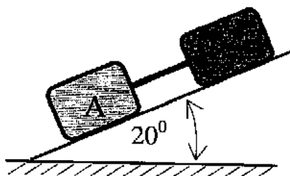


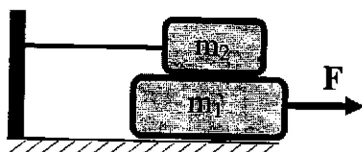
31. גוף נזרק לאורך מישור משופע חלק במהירות של 1m/sec וחוזר לנקודת ההתחלה לאחר 7sec. מהי זווית הנטייה של המישור? ($\alpha=1.67^0$)

32. גוף נזרק לאורך מישור משופע, שזווית הנטייה שלו היא 20^0. זמן העלייה קטן פי 3 מזמן הירידה. מהו המקדם החיכוך הקינטי? ($\mu_k = 0.29$)

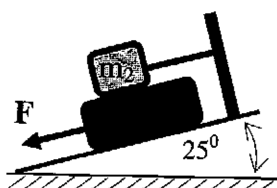
33. גוף נזרק לאורך מישור משופע, שזווית הנטייה שלו היא 30^0. המהירות בה הוא חזר לנקודת המוצא קטנה פי 4 מהמהירות ההתחלתית. מהו המקדם החיכוך הקינטי? ($\mu_k = 0.19$)

34. מערכת הגופים המתארת באיור מחליקה לאורך מישור משופע. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף "B" לבין המישור הוא 0.4. מקדם החיכוך הקינטי בין גוף "A" לבין המישור הוא 0.1. $m_A=8kg$ ו – $m_B=2kg$
א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $a=1.88m/sec^2$, ב. T =4.43N)

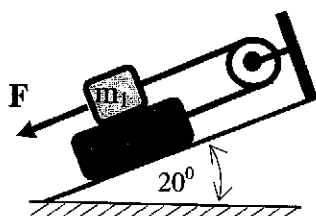




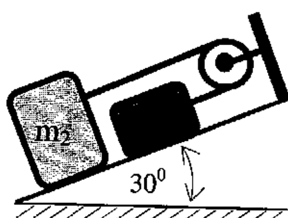
35. נתונה מערכת גופים, $m_1 = 8kg$ ו – $m_2 = 2kg$.
מקדם החיכוך הקינטי בין הגופים הוא 0.5,
ומקדם החיכוך הקינטי בין הגוף
שמסתו $m_1 = 8kg$ לבין המדרון 0.2.
א. מהו הכוח המינימאלי F הדרוש
לתנועת הגוף התחתון במהירות קבועה?
ב. מהי התאוצה של הגוף התחתון ,אם הכוח $F = 30N$?
(א. 29.43N , ב. $0.071m/sec^2$)



36. גוף, שמסתו $m_1 = 14kg$, קשור לחוט ונמצא על פני
גוף, שמסתו $m_2 = 5kg$ ונמצא על פני מישור
משופע חלק. מקדם החיכוך הקינטי בין הגופים 0.6.
א. מהי תאוצה הגוף שמסתו 14kg ?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. a=2.24m/sec , ב. T=26.67N)

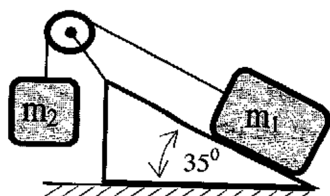


37. שני גופים, $m_1 = 4kg$ ו $m_2 = 6kg$, קשורים לחוט
העובר דרך גלגלת ונעים בתאוצה של $2.5m/sec^2$.
א. מהו הכוח F, אם מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף
שמסתו m_2 לבין המישור שווה 0.5 ?
ב. מהו הכוח F, אם המישור המשופע חלק ומקדם
החיכוך הקינטי בין הגופים 0.2?
(א. F=77.80N , ב. F =68.58N)



38. שני גופים, $m_1 = 3kg$ ו- m_2, קשורים לחוט העובר
דרך גלגלת. הגוף שמסתו m_1 עולה על פני המישור
בתאוצה של $0.5m/sec^2$. מקדם החיכוך הקינטי בין
הגוף, שמסתו m_1 לבין המישור הוא 0.2. מקדם
החיכוך בין גוף, שמסתו m_2, לבין המישור 0.3 .
א. מהי המסה m_2 ?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $m_2 = 11.48kg$ ב. T =21.31N)

39. שני גופים, $m_1 = 2kg$ ו – $m_2 = 3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת,
כמתואר באיור. המדרון חלק. משחררים את המערכת ממנוחה, כאשר שני
הגופים נמצאים בגובה 0.5m מעל הקרקע.



א. מהי תאוצת הגופים?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
ג. כמה זמן יחלוף מרגע השחרור ועד
פגיעת הגוף שמסתו m_1 בקרקע ?
(א. $3.64m/sec^2$, ב. 18.52N, ג. 0.52sec)

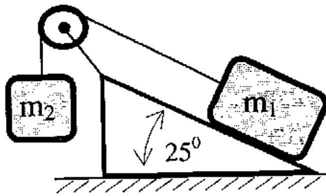
40. שני גופים, $m_1=3kg$ ו – $m_2=2kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר באיור. המדרון שבאיור חלק.

א. מהי תאוצת המערכת?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

ג. מהי תאוצת הגוף, אם המדרון אינו חלק ומקדם החיכוך הקינטי הוא 0.1 ?

(א. $1.44m/sec^2$, ב. 16.75N, ג. $0.90m/sec^2$)



41. שני גופים, $m_1=4kg$ ו – $m_2=6kg$, קשורים זה לזה באמצעות חוט העובר דרך גלגלת. המדרון שבציור חלק. מעניקים לגוף, שמסתו $m_2=6kg$, מהירות של 2m/sec במורד המדרון.

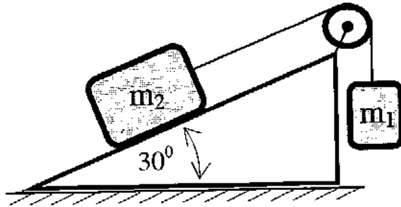
א. מהי תאוצת המערכת?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

ג. כמה זמן נמשכה עליית הגוף m_1?

ד. איזה מרחק הוא עבר בזמן עלייתו?

(א. $0.98m/sec^2$, ב. 35.32N, ג. 2.04sec, ד. 2.04m)



42. שני גופים, $m_1=1kg$ ו – $m_2=9kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת. מקדם החיכוך הקינטי בין גוף m_2 לבין המדרון 0.1. מעניקים לגוף m_2 מהירות של 2m/sec כלפי מעלה לאורך המדרון.

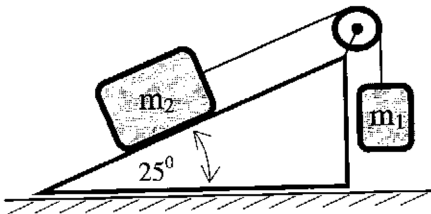
א. מהי תאוצת המערכת?

ב. כמה זמן נמשכה עליית הגוף הגדול?

ג. איזה מרחק הוא עבר בזמן עלייתו?

ד. באיזו מהירות יחזור הגוף m_2 לנקודת המוצא?

(א. $3.55m/sec^2$, ב. 0.56sec, ג. 0.56m , ד. 1.48m.sec)

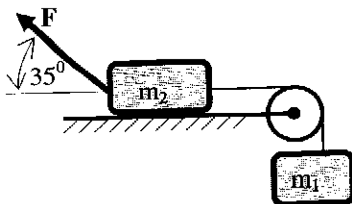


43. שני גופים, $m_1=2kg$ ו- $m_2=3kg$, קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת, כמתואר בתרשים. על הגוף, שמסתו 3kg, פועל כוח 40N במשך 0.4sec. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף, שמסתו '3kg לבין המישור 0.2.

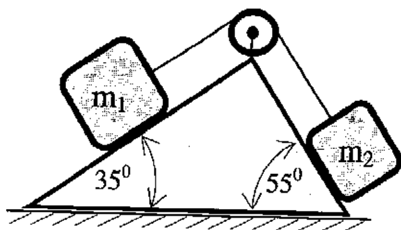
א. מהי תאוצת הגופים?

ב. באיזו מהירות יחזור הגוף m_2 לנקודת היציאה?

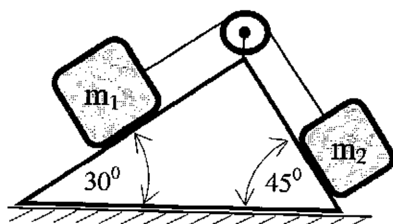
(א. $2.37m/sec^2$, ב. 1.40m/sec)



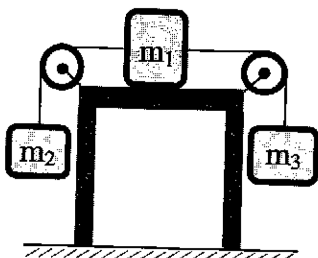
.44 שני גופים, $m_1 = 5kg$ ו – $m_2 = 2kg$,
קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת.
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהו כוח מתיחות החוט?
(א. $0.18m/sec^2$, ב. 27.56N)



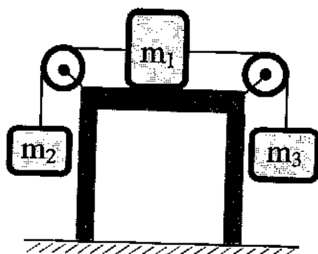
.45 שני גופים, $m_1 = 5kg$ ו – $m_2 = 2kg$,
קשורים זה לזה בחוט העובר דרך גלגלת.
מקדם החיכוך הקינטי בין הגופים
לבין המדרון 0.1.
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהו כוח המתיחות בחוט?
(א. $0.72m/sec^2$, ב. 16.69N)



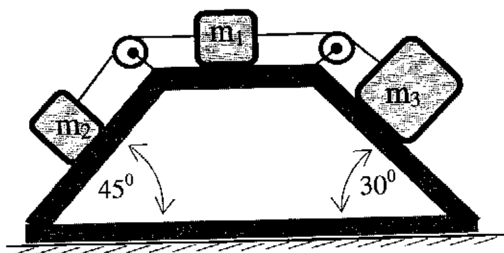
.46 שלושה גופים, $m_1 = 5kg$ $m_2 = 3kg$
ו – $m_3 = 2kg$, קשורים זה לזה
בחוטים העוברים דרך גלגלות.
המישור האופקי חלק.
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהם כוחות המתיחות בחוטים?
(א. $a = 0.98m/sec^2$,
ב. $T_{1\text{-}2} = 26.49N$, $T_{1\text{-}3} = 21.58N$)



.47 שלושה גופים, $m_1 = 5kg$ $m_2 = 3kg$
ו – $m_3 = 2kg$, קשורים זה לזה
בחוטים העוברים דרך גלגלות.
מקדם החיכוך הקינטי בין המישור
ובין הגוף שמסתו $m_1 = 5kg$ הוא 0.1.
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהם כוחות המתיחות בחוטים?
(א. $a = 0.49m/sec^2$,
ב. $T_{1\text{-}2} = 27.96N$, $T_{1\text{-}3} = 20.60N$)



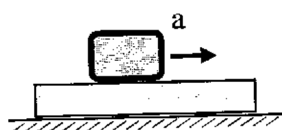
48. שלושה גופים, $m_1 = 4kg$ $m_2 = 3kg$
ו – $m_3 = 9kg$, קשורים זה לזה
בחוטים העוברים דרך גלגלות.
מקדם החיכוך הקינטי בין המישור
והגוף, שמסתו $m_1 = 5kg$, $\mu_k = 0.1$.
אין חיכוך בין הגופים m_2 ו – m_3
לבין המדרון.



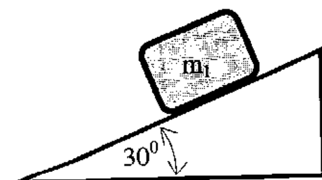
א. מהי תאוצת המערכת?
ב. מהם כוחות המתיחות בחוטים?
(א. $a = 1.21m/sec^2$, ב. $T_{1-2} = 24.40N$, $T_{1-3} = 33.26N$)

49. רכב, המתחיל את תנועתו ממצב מנוחה, מגיע למהירות 39.24m/sec תוך 5sec.
א. מהו מקדם החיכוך הסטטי?
ב. מהו המרחק שהוא יעבור עד לעצירה, אם כעבור 5sec הנהג כיבה את המנוע ולחץ על בלמים?
(א. 0.8, ב. 98.1m)

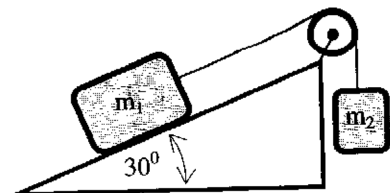
50. גוף, שמסתו 5kg, מונח על פני לוח אופקי מחוספס.
כוח החיכוך הסטטי המרבי בין הגוף לבין הלוח הוא 15N.
מהי התאוצה המרבית של הלוח, בה הגוף ממשיך
לנוע ביחד עם הלוח? ($3m/sec^2$)



51. גוף, שמסתו $m_1 = 8kg$, נזרק במהירות התחלתית של
13.2m/sec לאורך מישור משופע , שזווית
הנטייה שלו היא 30^0. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף
לבין המישור הוא 0.2 .



א. מצא את תאוצת הגוף .
ב. כמה זמן נמשכה עליית הגוף ואיזה מרחק
עבר הגוף בזמן העלייה ?
ג. חשב את המהירות בה חזר הגוף לנקודת
הזריקה?
ד. מחברים לגוף הראשון בעזרת חוט
העובר דרך גלגלת גוף שני, שמסתו
$m_2 = 2kg$, ומעניקים לשני הגופים מהירות
מסוימת, כך שגוף השני יורד כלפי מטה.
מהי תאוצת מערכת הגופים בזמן בו גוף
הראשון נע במעלה המישור?



(א. $a = -6.60m/sec^2$, ב. 2 sec, 13.2m ג. 9.20m/sec ד. $a = -3.32m/sec^2$)

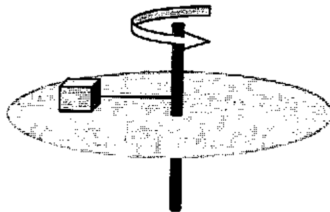
בעיות כוחות בתנועה מעגלית

1. כדור, שמסתו 0.4kg, קשור בחוט באורך L=0.5m נע במסלול מעגלי במהירות של 2m/sec.

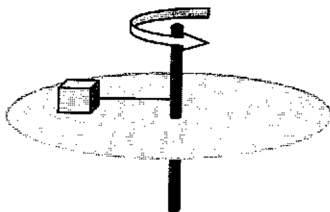
   א. מהי התאוצה צנטריפטלית?

   ב. מהו הכוח הצנטריפטלי?

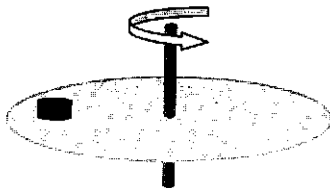
   (א. $8m/sec^2$, ב. 4N)



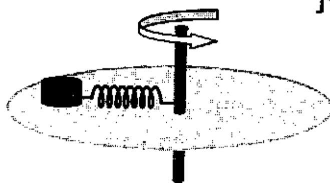
2. גוף, שמסתו m=2kg, קשור לחוט, שאורכו L=0.5m, ונמצא על פני דסקית אופקית, המסתובבת במהירות זוויתית ω=2rad/sec.
   מהו כוח המתיחות בחוט?
   (T=4N)



3. גוף, שמסתו m=0.3kg וקשור לחוט שאורכו L=0.4 m, נמצא על פני דסקית אופקית מחוספסת, המסתובבת במהירות זוויתית ω=10rad/sec
   כוח המתיחות המרבי של החוט 10N.
   מהו הגודל המינימאלי של מקדם החיכוך?
   (μ_s=0.68)



4. גוף נמצא על פני דסקית אופקית מחוספסת המסתובבת במרחק L= 0.2m מציר הסיבוב. מקדם החיכוך הסטטי μ_s=0.6 .
   מהי המהירות הזוויתית המכסימלית של התנועה?
   (ω=5.42rad/sec)



5. גוף שמסתו m=2kg קשור לקפיץ, ונמצא על פני דסקית מסתובבת אופקית במהירות זוויתית ω=8rad/sec .
   מקדם החיכוך הסטטי μ_s=0.4 . קבוע הקפיץ k=100N/m . אורך הקפיץ הרפוי L=0.2m.

   א. מהי התארכות הקפיץ?

   ב. מקטינים את תדירות סיבובים. מהו זמן המחזור המינימאלי בו נשמרת התארכות הקפיץ?

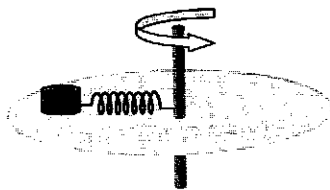
   (א. x=0.08m, ב. T=12.06sec)

6. גוף שמסתו m=0.16kg קשור לקפיץ, ונמצא על פני דסקית חלקה במרחק 0.5m מציר הסיבוב. התארכות הקפיץ 0.02m. קבוע הקפיץ k=200N/m .

א. מהי המהירות הזוויתית של הדסקית?

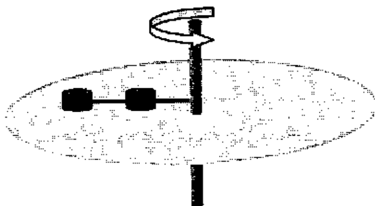
ב. מהו תחום המהירות הזוויתית של הדסקית, אם מקדם החיכוך הסטטי שווה $\mu_s=0.4$?

(א. $\omega=7.07$ rad/sec , ב. 5.87rad/sec $\le \omega \le$8.11rad/sec)



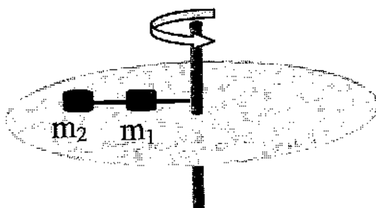
7. שני גופים $m_1= m_2=2kg$ נמצאים על פני דסקית חלקה אופקית מסתובבת. הראשון במרחק $L_1= 0.2m$ השני – $L_2= 0.4m$.
המהירות הזוויתית של הדסקית $\omega=10rad/sec$.
מהם כוחות המתיחות בחוטים?

($T_2=80N$, $T_1=120N$)



8. שני גופים $m_1= m_2=2kg$ נמצאים על פני דסקית אופקית המסתובבת. הראשון במרחק $L_1= 0.1m$ השני – $L_2= 0.4m$.
המהירות הזוויתית של הדסקית $\omega=10rad/sec$.
מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.8$.
מהם כוחות המתיחות בחוטים?

($T_1=68.61N$, $T_2 =64.30N$)



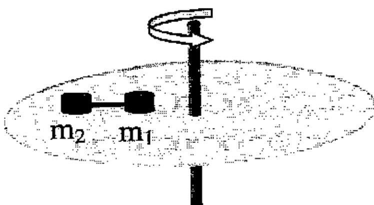
9. שני גופים $m_1=2kg$ ו- $m_2=2.5kg$ נמצאים על פני דסקית אופקית מסתובבת מחוספסת . הראשון במרחק $L_1= 0.2m$ השני – $L_2= 0.3m$ מציר הסיבוב. מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.5$.
המהירות הזוויתית של הדסקית $\omega=4rad/sec$.

א. מהו כוח המתיחות?

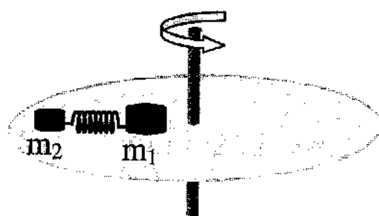
ב. מהו כוח החיכוך הפועל על הגוף הנמצא במרחק $L_1= 0.2m$?

ג. מהי המהירות הזוויתית המרבית, שבה הגופים לא יחליקו על פני הדסקית?

(א. $T=2.19N$, ב. . $F_S=8.59N$, ג. $\omega=4.13rad/sec$)



10. שני גופים $m_2=2kg$ ו- $m_1=10kg$ נמצאים על פני דסקית ומחוברים לקפיץ מתות, הראשון במרחק $L_1=0.5m$ והשני – $L_2=1m$ מציר סיבוב. מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.8$.

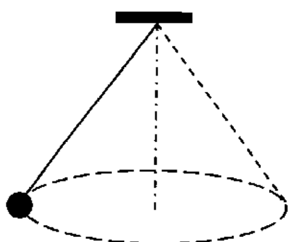


א. מהי המהירות הזוויתית המרבית בה הגופים לא יחליקו על פני הדסקית?

ב. מהו כוח החיכוך הפועל על הגוף m_2?

(א. $\omega=3.54rad/sec$, ב. $F_S=9.41$)

11. גוף שמסתו 5kg קשור לחבל שאורכו 2m ונע במישור אופקי, כך שהחוט יוצר זווית 30^0 עם האנך.

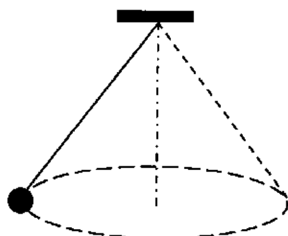


א. מהו כוח המתיחות?

ב. מהי התדירות?

(א. $T=56.64N$, ב. $f = 0.38Hz$)

12. כדור קטן שמסתו 0.04kg קשור לחוט. הכדור מסתובב במישור האופקי. רדיוס הסיבוב $R=0.5m$. זמן המחזור 2sec.



א. מהי זווית הסטייה של החוט מהאנך?

ב. מהו כוח המתיחות בחוט?

(א. 26.70^0, ב. $T=0.44N$)

13. מכונית נעה במהירות קבועה על קטע כביש עקום שרדיוסו 20m. מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.8$. מהי המהירות המכסימלית בה המכונית יכולה לעבור את קטע הדרך הזה?

($v = 12.53m/sec$)

14. מכונית נעה במהירות $v = 25m/sec$ על קטע כביש עקום שרדיוס העקמומיות שלו 20m. מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.8$. מהו רדיוס הסיבוב הקטן ביותר בו המכונית יכולה לעבור את קטע הדרך הזה?

($R =79.64m$)

15. מכונית נעה במהירות $v = 20m/sec$ על קטע כביש עקום שרדיוס העקמומיות שלו 68m. מהו מקדם החיכוך הסטטי הקטן ביותר הדרוש לסיבוב ללא החלקה צדדית? ($\mu_s=0.60$)

16. מכונית נעה במהירות קבועה על פני גשר קמור שרדיוס העקמומיות שלו 180m. מסת המכונית 1200kg. בנקודה הגבוהה ביותר פועל על מכונית כוח נורמל בגודל 8500N. מהי מהירות המכונית?
($v=22.15m/sec$)

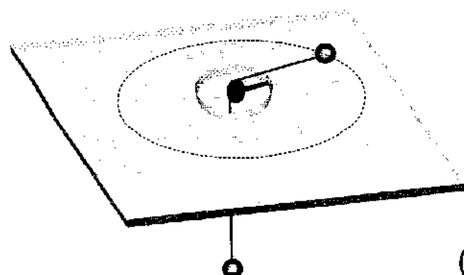
17. מכונית נעה במהירות $v=22m/sec$ על פני גשר קעור שרדיוס העקמומיות שלו 100m. מסת המכונית 1000kg. מהו הכוח המעיק שהמכונית מפעילה על הגשר בנקודה הנמוכה ביותר? (14650N)

18. רכב שמסתו 1000kg נע על פני גשר קמור במהירות 20m/sec.
רדיוס עקמומיות הגשר 150m.
א. איזה כוח מפעיל הרכב על הגשר בנקודה הגבוהה ביותר?
ב. איזה כוח מפעיל הרכב על הגשר בנקודה שבה הזווית בין האנך לבין הקו המחבר את הנקודה עם מרכז המעגל שווה ל - 30^0?
(א. $N=7143.33N$, ב. $N=5829.04N$)

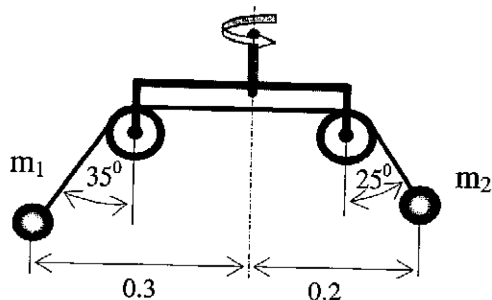
19. רוכב אופנוע נע במהירות $v=20m/sec$ במסלול עקום. רדיוס העקמומיות 100m.
א. מהי זווית הסטייה של הרוכב מהקו האנכי?
ב. מהו הערך המינימאלי של מקדם החיכוך הסטטי הנדרש לתנועה במסלול הזה?
(א. $\alpha=22.18^0$ ב. $\mu_S=0.41$)

20. רוכב אופניים נע במהירות $v=5m/sec$ במסלול עקום. זווית הסטייה של הרוכב מהקו האנכי $\alpha=20^0$.
א. מהו רדיוס העקמומיות?
ב. מהו הערך המינימאלי של מקדם החיכוך הסטטי הנדרש לתנועה במסלול הזה?
(א. $R= 7.00m$ ב. $\mu_S=0.36$)

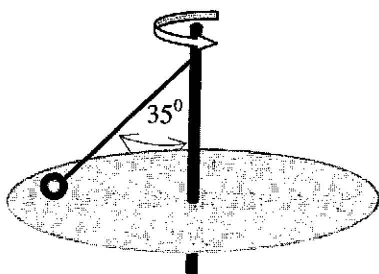
21. גוף שמסתו $m_1= 0.2kg$ מסתובב ביחד עם המישור האופקי, כשהוא קשור לגוף שני, שמסתו גם $m_2= 0.2kg$.
הגוף השני נמצא במצב שיווי- משקל.
רדיוס סיבוב הגוף הראשון 0.1m.
א. מהו כוח המתיחות בחוט?
ב. מהי המהירות הזוויתית של הגוף?
(א. $T=1.96N$, ב. $\omega = 9.90rad/sec$)



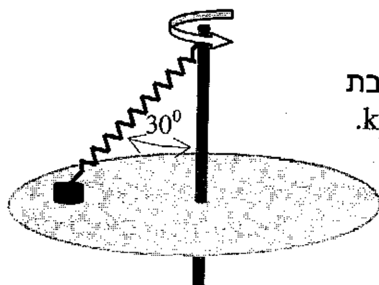
22. שני גופים קשורים זה לזה באמצעות חוט העובר דרך שתי גלגלות.
מערכת הגופים מסתובבת במהירות זוויתית קבועה. m_1 =2kg .
א. מהו כוח המתיחות בחוט?
ב. מהי המהירות הזוויתית?
ג. מהי מסת הגוף השני?
(א. T=23.95N , ב. ω= 4.79rad/sec
ג. m_2 =2.21kg)



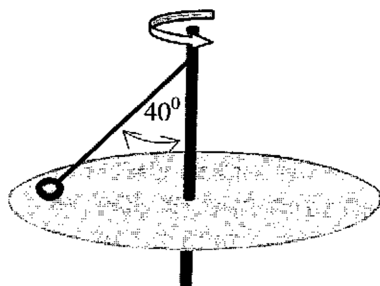
23. כדור קטן שמסתו 0.4kg קשור לחוט שאורכו 0.5m ונמצא על פני דסקית מסתובבת. מהירות הכדור 0.5m/sec
א. מהו כוח המתיחות בחוט?
ב. מהו הכוח הנורמלי?
(א. T=0.61N , ב. N=3.32N)



24. גוף, שמסתו 10kg, קשור לקפיץ, שאורכו הרפוי הוא 0.4m, ונמצא על פני דסקית המסתובבת במהירות 2rad/sec. קבוע הקפיצים k = 500N/m.
א. מהו הכוח האלסטי?
ב. מהו הכוח הנורמלי?
(א. F=17.39N , ב. N=83.04N)



25. כדור קטן, שמסתו 0.4kg, קשור לחוט, שאורכו 0.5m, ונמצא על פני דסקית, המסתובבת במהירות זוויתית של 2rad/sec.
מקדם החיכוך הסטטי μ_s=0.1.
מהו הכוח הנורמלי וכוח המתיחות?
(א. T=0.22N , ב. N=3.76N)

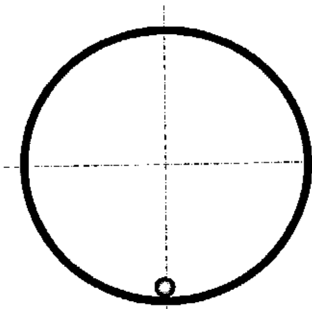


26. כדור קטן, שמסתו 0.4kg, נע בתוך מסילה אנכית מעגלית. רדיוס המסילה 5m .

א. מהי המהירות המינימאלית בה הוא מסוגל לעבור את נקודת השיא?

ב. מהו כוח התגובה הפועל על הכדור בנקודה העליונה, אם מהירות הכדור גדולה פי 3 מהמהירות הקריטית?

(א. 7m/sec , ב. 31.36N)

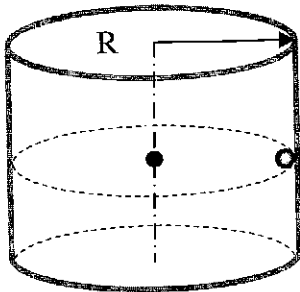


27. כדור שמסתו 4kg נע בתוך גליל חלול. מסלול תנועתו מעגל אופקי. רדיוס הגליל 3m. מקדם החיכוך הסטטי μ_s=0.8 .

א. מהי מהירות הכדור?

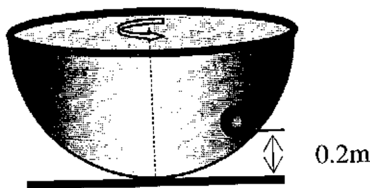
ב. מהו כוח התגובה הפועל על הכדור?

(א. 6.07m/sec , ב. 49.05N)



28. כדור קטן נמצא בתוך קערה כדורית, שהרדיוס שלה 1m. הקערה מסתובבת סביב הציר האנכי. בזמן תנועתה של הקערה הכדור עולה לגובה 0.2m מעל לקו האופקי. מהי תדירות הסיבובים של הקערה?

(0.58Hz)

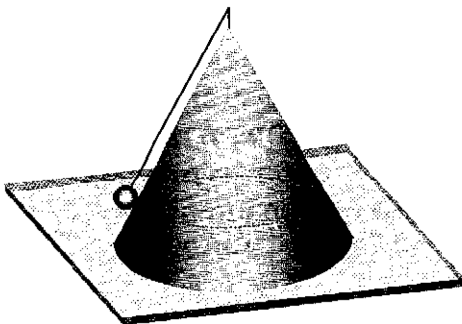


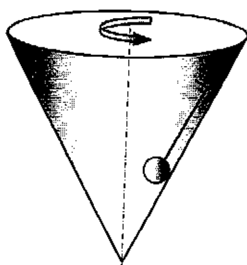
29. כדור קטן שמסתו 0.1kg נע על פני חרוט. אורך החוט 0.4m. מהירות הכדור 1m/sec. זווית ראש החרוט 40^0 .

א. מהו כוח המתיחות בחוט?

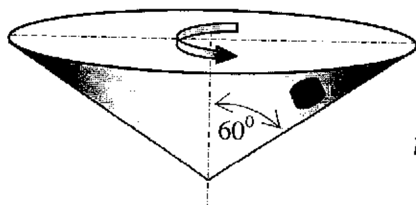
ב. מהי מהירות הכדור בה כוח בתגובה שווה לאפס?

(א. T=0.235N , ב. N=0.69N)

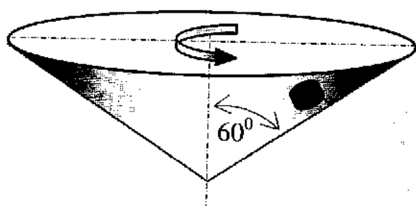




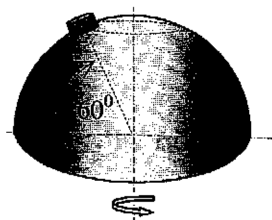
30. כדור קטן שמסתו 0.1kg נע על פני חרוט.
רדיוס המסלול של תנועת הכדור הוא 0.4m.
המהירות הזוויתית הנה 2rad/sec.
זווית ראש החרוט 60^0 .
א. מהו כוח המתיחות בחוט?
ב. מהי המהירות הזוויתית של הכדור בה כוח המתיחות שווה לאפס?
(א. T=0.77N , ב. 6.52rad/sec)



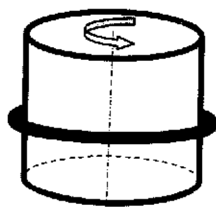
31. גוף קטן נמצא בתוך חרוט המסתובב סביב צירו האנכי. זמן המחזור 3sec.
מקדם החיכוך הסטטי בין הגוף ופני החרוט 0.4.
מהו תחום רדיוסים התנועה שבהם הגוף לא יחליק על פני החרוט?
($0.32m \le R \le 2.84m$)



32. גוף קטן נמצא בתוך חרוט המסתובב סביב צירו האנכי במרחק 4m ממנו.
מקדם החיכוך הסטטי בין הגוף ופני החרוט 0.1.
א. מהו זמן המחזור בו הגוף לא יחליק כלפי מטה?
ב. מהו זמן המחזור בו הגוף לא יחליק כלפי מעלה?
(א. $T \le 6.01sec$,ב. $T \ge 3.37sec$)



33. כדור קטן נמצא על פני קערה כדורית, שהרדיוס שלה 1m. הקערה מסתובבת סביב הציר האנכי. מקדם החיכוך הסטטי $\mu_s=0.8$.
מהי תדירות הסיבובים המרבית של הקערה?
(ω =1.73rad/sec)



34. טבעת גומי נמצאת על גליל, המסתובב בתדירות 2Hz.
רדיוס הגליל 0.3m . מסת הטבעת 0.05kg.
כוח המתיחות בטבעת 0.8N.
מהו מקדם החיכוך עבורו הטבעת לא תיפול מטה?
(μ_S= 0.18)

פרק 7: אנרגיה

7.1 מבוא

אנרגיה היא יכולת הגוף לבצע פעולות, או במלים אחרות אנרגיה היא יכולת של גוף לגרום לשינוים בסביבתו, או בתוכו. שינויים במהירות הגוף, במיקום הגוף ושינויים הפיכים של צורת הגוף מתרחשים עקב שינוי האנרגיה המכאנית. כל השינויים האחרים מתרחשים עקב שיניו סוג אחר של אנרגיה הנקראת אנרגיה פנימית.
הסימן של האנרגיה **E** , כי E היא האות הראשונה במילה Energy. במכניקה מבחינים בין שני סוגי אנרגיה שונים: אנרגיה פוטנציאלית ואנרגיה קינטית. האנרגיה המכנית הכללית $\mathbf{E_t}$ שווה לסכומם.

$$\mathbf{E_t = E_k + E_p}$$

במערכת יחידות SI יחידת אנרגיה מכל סוג היא 1ג'אול 1J = .

7.2 אנרגיה קינטית

כל גוף נע יכול לגרום לשינויים בעת התנגשות עם גוף אחר. כלומר, על פי הגדרת האנרגיה, גוף נע הוא בעל אנרגיה. אנרגיה זו נקראת אנרגיה קינטית. אנרגיה קינטית, או אנרגיית תנועה, היא אנרגיה שיש לגוף עקב תנועתו. כאשר גוף נמצא במנוחה, האנרגיה של תנועתו היא אפס. הסימן של האנרגיה הקינטית הוא $\mathbf{E_k}$.
הנוסחה לחישוב אנרגיה קינטית היא:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Ek - אנרגיה קינטית (J)
m - מסת גוף (kg)
v - מהירות הגוף (m/sec)



איור מס' 1: אנרגיה קינטית של רוכב אופניים

על פי הנוסחה, הערך המספרי של האנרגיה הקינטית פרופורציוני למסת הגוף הנע. חשוב לזכור, כי האנרגיה הקינטית פרופורציונית לריבוע המהירות. הגדלה המהירות פי שניים גורמת להגדלה האנרגיה קינטית פי ארבעה.
גודל האנרגיה הקינטית תלוי גם בבחירת מערכת הייחוס. למשל, אנרגיה קינטית של אדם היושב בתוך אוטובוס הנע בכביש, היא אפס יחסית לאוטובוס, ובו זמנית שונה מאפס יחסית לכביש.

7.3 אנרגיה פוטנציאלית של כוח הכובד

על כל הגופים, הנמצאים בסביבה של כדור הארץ, או על פניו פועל כוח הכבידה. הדבר נכון גם ביחס לכוכבי לכת אחרים. כוח הכבידה מושך את הגופים למרכז כדור הארץ, או למרכז הכוכב בו נמצא הגוף. גופים הנופלים או נזרקים אנכית, מושפעים מכוח הכבידה, ויכולים לגרום לשינויים בסביבתם, כלומר, הם בעלי אנרגיה מסוימת. אנרגיית גופים מסוג כזו נקראת אנרגיה פוטנציאלית או אנרגיית גובה. האנרגיה הפוטנציאלית היא חלק של האנרגיה המכאנית, ותלויה במיקום הגוף יחסית לגופים אחרים. האנרגיה הפוטנציאלית של כוח הכובד, או במלים אחרות, אנרגיה הגובה, היא אנרגיה של כל גוף הנמצא בגובה מעל רמה מסוימת. הסימן של אנרגיה פוטנציאלית הוא E_p.

הנוסחה לחישוב אנרגיה פוטנציאלית היא:

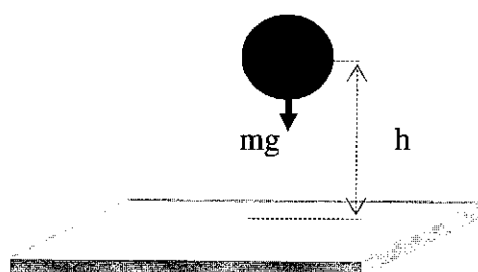
$$E_p = mgh$$

E_p – אנרגיה פוטנציאלית (J)

m- מסת הגוף (kg)

g – תאוצה הכובד ($9.81\ m/sec^2$)

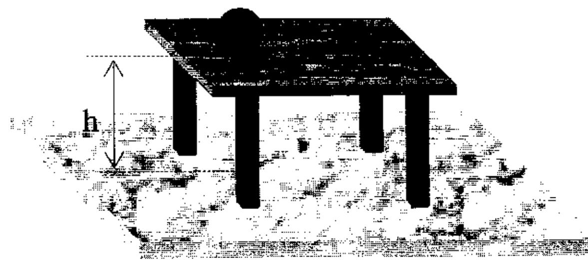
h– גובה (m)



איור מס' 2

על פי הנוסחה, הגודל של האנרגיה הפוטנציאלית תלוי במסת הגוף ובגובה שלו. ככל שמסת הגוף גדולה יותר, או שהגוף נמצא גבוה יותר, יש לו יותר אנרגיה פוטנציאלית. בדרך כלל ניתן להזניח את השינויים של תאוצה הכובד עקב שינוי בגובה מעל פני כדור הארץ, או מקום הגופים. האנרגיה פוטנציאלית של אותו הגוף באותו גובה, אבל על פני כוכב לכת אחר, תיהנה שונה מאשר על פני כדור הארץ עקב שינוי בערך המספרי של תאוצת הכובד. לכל כוכב לכת יש תאוצת כובד משלו.

הערך המספרי האנרגיה הפוטנציאלית של כוח הכובד תלוי בבחירת רמת האפס של גובה הגוף. במלים אחרות, הערך המספרי של האנרגיה הפוטנציאלית נקבע על פי הנקודה בה גובה הגוף הוא אפס. האנרגיה הפוטנציאלית של כדור (איור מס' 3), הנמצא על פני שולחן יחסית לרצפה היא mgh. h – הוא גובה הכדור מעל פני הרצפה. יחסית לפני השולחן האנרגיה הפוטנציאלית של אותו הכדור היא אפס, כי גובה הכדור מעל פני השולחן הוא אפס. אנרגיה פוטנציאלית לא תלויה בתנועת הגוף. לשני גופים זהים הנמצאים באותו גובה יש אותה אנרגיה פוטנציאלית, ולא משנה האם אחד מהם נמצא במנוחה והשני נע במהירות מסוימת.



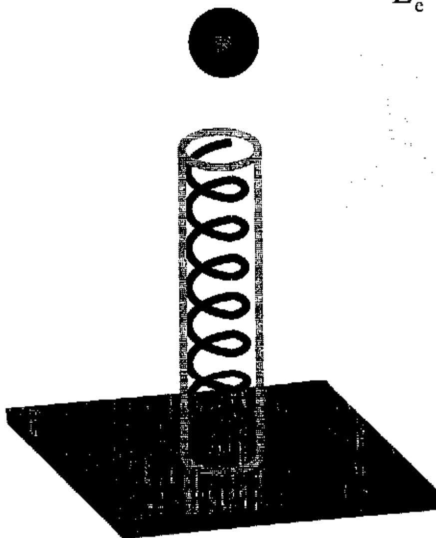
איור מס' 3

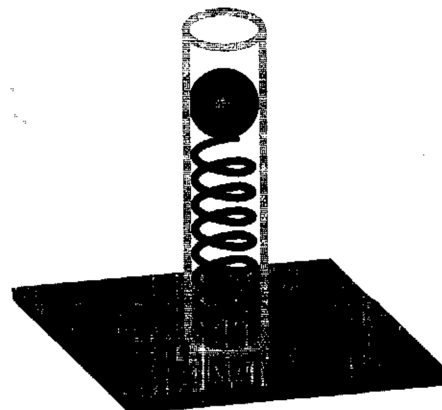
7.4 אנרגיה אלסטית

אנרגיה אלסטית, או אנרגיה קפיצית, היא אנרגיה פוטנציאלית של גוף אלסטי. אנרגיה אלסטית מושפעת ממקום חלקיקי הגוף, האחד יחסית לשני. כלומר, כאשר צורת הגוף שונה מהצורה המקורית, לגוף יש אנרגיה אלסטית. הנוסחה לחישוב האנרגיה האלסטית היא:

$$E_e = \frac{kx^2}{2}$$

E_e - אנרגיה אלסטית (J)
k- קבוע הקפיץ (N/m)
x- התארכות הקפיץ (m)





איור מס' 5   איור מס' 4

איור מס' 4 מתאר את האנרגיה האלסטית האגורה בקפיץ מכווץ. לאחר השחרור, הקפיץ מפעיל כוח אלסטי על הכדור הנמצא עליו. עקב כך הכדור עף כלפי מעלה. כעת הקפיץ רפוי, והאנרגיה האלסטית שלו היא אפס (איור מס' 5).

7.5 עבודה

כאשר האנרגיה המכאנית של גוף משתנה, אומרים, שקיים כוח המבצע עבודה מכאנית. עבודת הכוח, או העבודה המכאנית, היא מידת שינוי האנרגיה של הגוף. הסימן של העבודה הוא **W**. הקשר בין עבודה לבין אנרגיה נתון על ידי נוסחה הבאה:

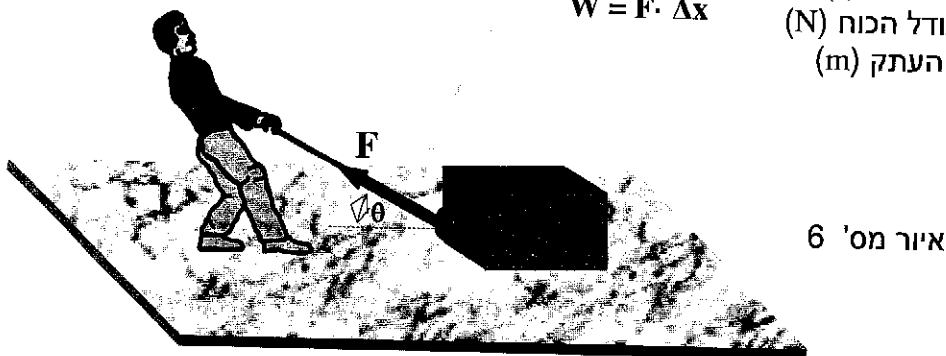
W – עבודה (J)
E_1 – אנרגיה התחלתית (J)
E_2 – אנרגיה סופית (J)

$$W = E_2 - E_1$$

עבודה יכולה לקבל ערכים חיוביים ושליליים. עבודה הכוח היא חיובית, כאשר האנרגיה הסופית של הגוף גדולה מהאנרגיה ההתחלתית שלו. עבודת הכוח היא שלילית, כאשר האנרגיה הסופית של הגוף קטנה מהאנרגיה ההתחלתית שלו. עבודת הכוח שווה לאפס, אם לא חל אף שינוי באנרגית הגוף.
את העבודה של כוח קבוע, הפועל על גוף בכיוון תנועתו ומניע אותו ממקום למקום, אנו מחשבים בעזרת הנוסחה הבאה:

W – עבודה (J)
F – גודל הכוח (N)
Δx - העתק (m)

$$W = F \cdot \Delta x$$



איור מס' 6

במקרים, בהם הכוח פועל בזווית לכיוון תנועת הגוף (איור מס' 6), הנוסחה לחישוב עבודת הכוח היא:

W – עבודה (J)
F – גודל הכוח (N)
Δx – ערך מספרי העתק (m)
θ- זווית בין הכוח לבין כיוון תנועת הגוף

$$W = F \cdot \Delta x \cdot \cos\theta$$

יחידת העבודה היא 1ג'אול = 1J. בעזרת הנוסחה לחישוב העבודה ניתן להגדיר את יחידת העבודה של 1ג'אול. 1ג'אול הוא העבודה של כוח קבוע בגודל 1ניוטון הפועל לאורך מרחק של 1מטר, כאשר הכוח פועל לאורך מסלול התנועה.

מכפלת הכוח בקוסינוס הזווית היא הרכיב של הכוח בכיוון ההעתק $F_x = F \times Cos\theta$ ולכן הנוסחה לחישוב העבודה תהיה:

$$W = F_x \cdot \Delta x$$

מתוך נוסחת העבודה נובע, כי העבודה של כוח היא חיובית, כאשר הזווית בין כיוון פעולת הכוח לבין כיוון תנועת הגוף, קטנה מ – 90^0. העבודה של כוח היא שלילית, כאשר הזווית בין כיוון פעולת הכוח לבין כיוון תנועת הגוף, גדולה מ - 90^0. כוח המאונך לכיוון תנועת הגוף לא מבצע עבודה, כי $Cos90^0 = 0$.

ישנם מקרים בהם הכוח מאונך לכיוון תנועת הגוף. בחלק מהמקרים עבודת כוח נורמל שווה לאפס, למשל, גוף, הנע על פני מישור אופקי, או מחליק על פני מישור משופע. הדבר הוא אינו נכון, כאשר הגוף נע בכיוון אנכי: כלפי מעלה או כלפי מטה. במקרים, בהם הגוף נע בהשפעה של מספר כוחות, אנו מחשבים את עבודת של הכוח השקול F_T. רכיב הכוח השקול בכיוון תנועת הגוף שווה ל-

$$F_{Tx} = F_{1x} + F_{2x} + \ldots F_{nx}$$

ולפי נוסחת העבודה מקבלים:

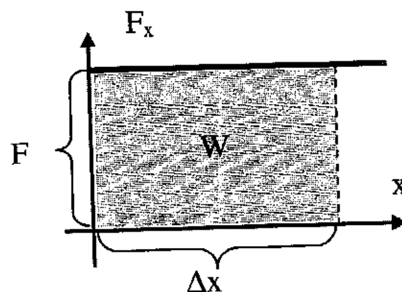
$$W_T = F_{Tx} \cdot \Delta x = (F_{1x} + F_{2x} + \ldots F_{nx}) = F_{1x} \cdot \Delta x + F_{2x} \cdot \Delta x + \ldots F_{nx} \cdot \Delta x$$

מתוך הביטוי אחרון נובע, כי כל כוח מבצע עבודה משלו, והעבודה השקולה שווה לסכום אלגברי של העבודות של כל כוח בנפרד.

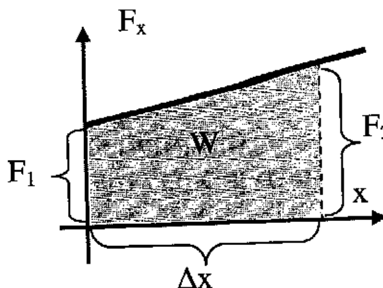
$$W_T = W_1 + W_2 + \cdots W_n$$

7.6 גרף עבודת הכוח

נתבונן בגרף של תלות כוח במרחק (העתק), שעבר גוף בהשפעתו (איור מס' 7). כאשר הכוח קבוע, הגרף הוא קו ישר, המקביל לציר ההעתק. הגרף מאפשר לייצג את עבודת הכוח באמצעות השטח (על פי קנה מידה מסוים), הנמצא מתחת לגרף הכוח. במקרה זה השטח הוא מלבן, שצלעותיו הן הכוח הפועל על הגוף והמרחק שהגוף עבר.



איור מס' 7



איור מס' 8

קל להוכיח, שבמקרים בהם הכוח נמצא ביחס ישר למרחק שעבר גוף בהשפעתו (איור מס' 8), עבודת הכוח מיוצגת באמצעות שטח טרפז, שהבסיסים שלו הם הכוח התחלתי F_{1x} הכוח הסופי F_{2x}, וגובה הטרפז הוא המרחק Δx, שעבר הגוף.

7.7 עבודה כוח הכובד (הכבידה)

נחשב מהי העבודה של כוח הכבידה, ונתבונן במה היא תלויה. באיור מס' 9 מתוארת תנועה של גוף, הנע בהשפעת כוח הכבידה בלבד. מתוך האיור, העתק הגוף Δx שווה להפרש בין הגבהים $\Delta x = h_2 - h_1$, והכוח הפועל על הגוף הוא $F = mg$.

לאחר הצבה לתוך נוסחת העבודה $$W = F \cdot \Delta x$$

נקבל: $$W = mg \cdot (h_2 - h_1)$$

את הביטוי האחרון ניתן לרשום בצורה אחרת: $$W = mgh_2 - mgh_1$$

המכפלה mgh_1 היא האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף כתוצאה מהכבידה במצב התחלתי E_1, והמכפלה mgh_2 היא האנרגיה הפוטנציאלית E_2 של הגוף כתוצאה מהכבידה במצב הסופי. מכאן ניתן להסיק, כי העבודה של כוח הכבידה שווה להפרש בין האנרגיות הפוטנציאליות בשתי הנקודות.

$$W = E_2 - E_1$$

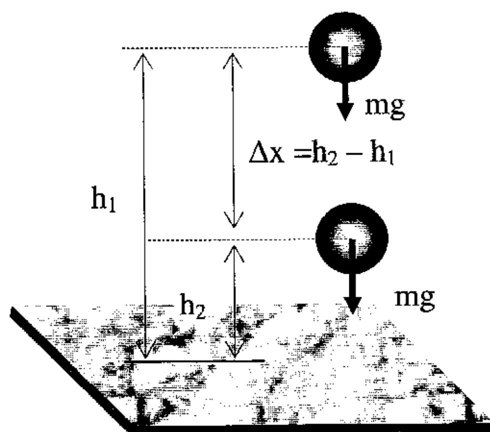
עבודה כוח הכבידה חיובית, כי כוח הכבידה פועל בכיוון תנועת הגוף. הביטוי המופיע מעלה נותן לנו ערך עבודה שלילי. קיבלנו ערך שלילי של העבודה עקב בחירת הכיוון של גובה הגוף מפני כדור הארץ ומעלה. הגובה ההתחלתי גדול מאשר הגובה הסופי של הגוף. על פי הציור:

$h_2 < h_1$ עקב כך: $E_2 < E_1$

לצורך תיקון הנוסחה, ובכדי שהעבודה של כוח הכבידה תהיה חיובית, חייבים רשום סימן מינוס בנוסחה, ומתקבל הביטוי הבא:

$$W = -(E_2 - E_1) = -\Delta E$$

על פי הביטוי האחרון, העבודה של כוח הכבידה שווה לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית עם סימן מינוס לפניו.

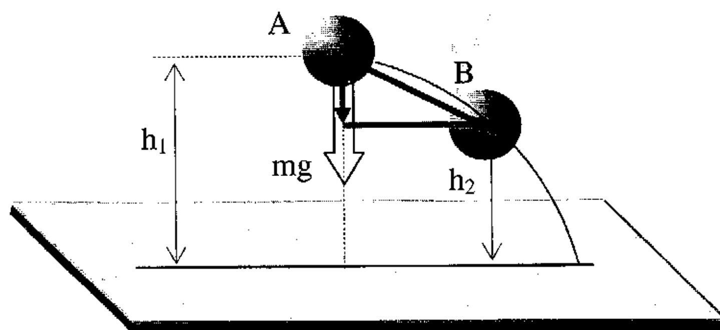


איור מס' 9

נטפל כעת במקרה כללי של תנועת גוף בהשפעת כוח הכבידה. באיור מס' 10 מתוארת תנועת גוף, שמסלולו הוא קו עקום. נחליף את העתק הגוף מנקודה A לנקודה B בהעתק בכיוון אנכי ובהעתק בכיוון אופקי. עבודתו של כוח הכבידה בכיוון האנכי היא:

$$W = mgh_2 - mgh_1$$

עבודתו של כוח הכבידה בכיוון האופקי היא אפסית, כי כוח המאונך לכיוון תנועת הגוף לא מבצע עבודה כלל.



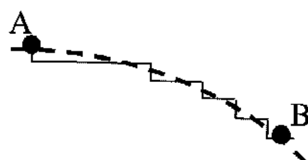
איור מס' 10

בסופו של דבר נקבל:

$$W = mgh_2 - mgh_1$$

שוב קיבלנו אותו הביטוי לחישוב עבודתו של כוח הכבידה. קל להוכיח, כי עבודתו של כוח הכבידה לא תלויה בצורת המסלול. כל תנועה בין שתי נקודות של קו עקום (איור מס' 11) ניתן להחליף בשתי תנועות: האחת בכיוון האופקי והשנייה בכיוון האנכי. את האורך ואת הגובה של ה"מדרגות" (איור מס' 12) יכולים לבחור כל כך קטנים, כך שיהיה ניתן להזניח את ההבדלים בין הקו העקום המרוסק AB לבין הקו שבור שבין אותן הנקודות.

בסופו של דבר הגענו למסקנה: העבודה של כוח הכבידה לא תלויה בצורת מסלול הגוף. העבודה של כוח הכבידה תלויה אך ורק בגובה של הנקודה ההתחלתית והסופית של מסלול תנועת הגוף.

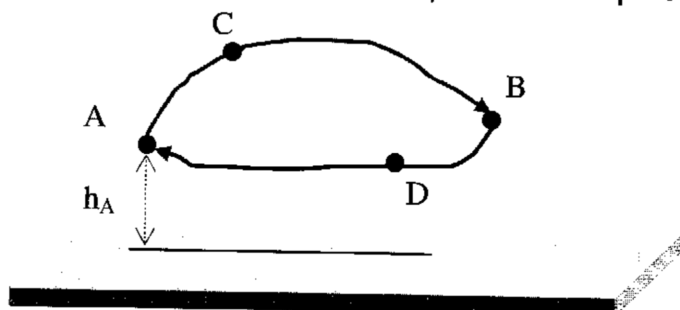


איור מס' 12



איור מס' 11

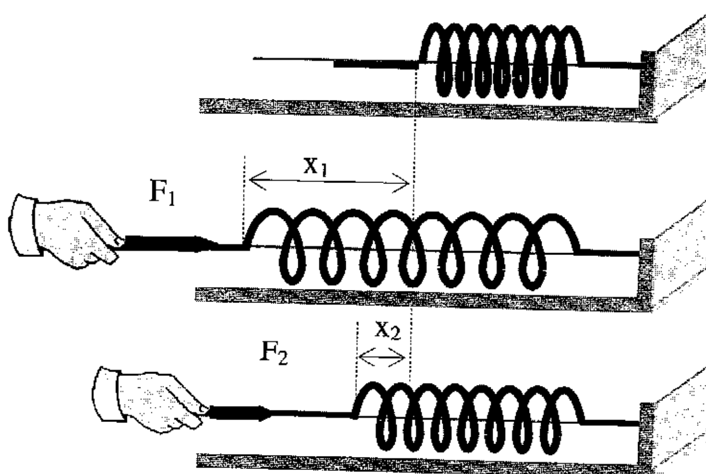
מסקנה חשובה נוספת היא, שעבודת כוח הכבידה לאורך מסלול סגור ABCDA תמיד שווה לאפס, כי אין הפרש בין הגובה של הנקודה התחלתית לגובה של הנקודה הסופית (איור מס' 13).



איור מס' 13

7.8 עבודת כוח אלסטי

אנו לא יכולים להשתמש בנוסחת עבודה של כוח קבוע לחישוב עבודה של כוח אלסטי. גודל כוח אלסטי תלוי בהתארכות של הקפיץ (ציור מס' 14). כאשר ההתארכות היא x_1 כוח אלסטי שווה ל- F_1, כאשר ההתארכות היא x_2 כוח אלסטי שווה ל- F_2.



איור מס' 14

לצורך חישוב עבודת כוח אלסטי אנו משתמשים בנוסחה הקושרת בין עבודה ואנרגיה, לפיו עבודת הכוח שווה לשינוי באנרגיה.

במקרה שלנו עבודת הכוח האלסטי שווה לשינוי האנרגיה האלסטית של הקפיץ:

$$W = E_2 - E_1$$

או:

$$W = -(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2})$$

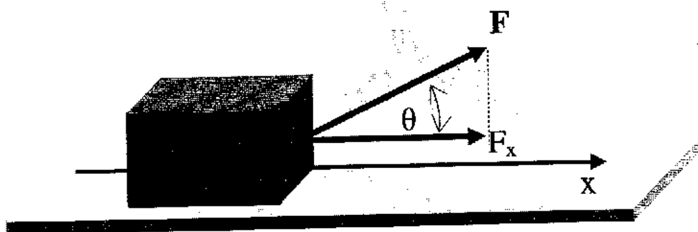
במקרה זה עבודת הכוח האלסטי היא חיובית, כי הכוח האלסטי פועל בכיוון תנועת קצה הקפיץ, אך ההתארכות x_1 גדולה מאשר ההתארכות x_2. לכן מוסיפים סימן מינוס לפני הסוגריים. בדומה לעבודת כוח הכבידה, גם עבודת הכוח אלסטי לא תלויה בצורת המסלול. עבודת כוח אלסטי לאורך מסלול סגור תמיד שווה לאפס.

7.9 משפט עבודה – אנרגיה קינטית

כאשר גוף עובר ממצב אחד למצב אחר, מתרחש שינוי באנרגיה הקינטית עקב הפעלת כוח שקול. על פי החוק השני של ניוטון, רכיב הכוח השקול לאורך ציר ה - x שווה למכפלת מסת הגוף בתאוצתו.

$$F_x = ma_x$$

כאשר הכוח השקול (איור מס' 15) שפועל על הגוף קבוע, הגוף נע בתאוצה קבועה:



$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta x}$$

איור מס' 15

לאחר הצבה בנוסחה לחישוב העבודה מקבלים: $W = F_x \cdot \Delta x$

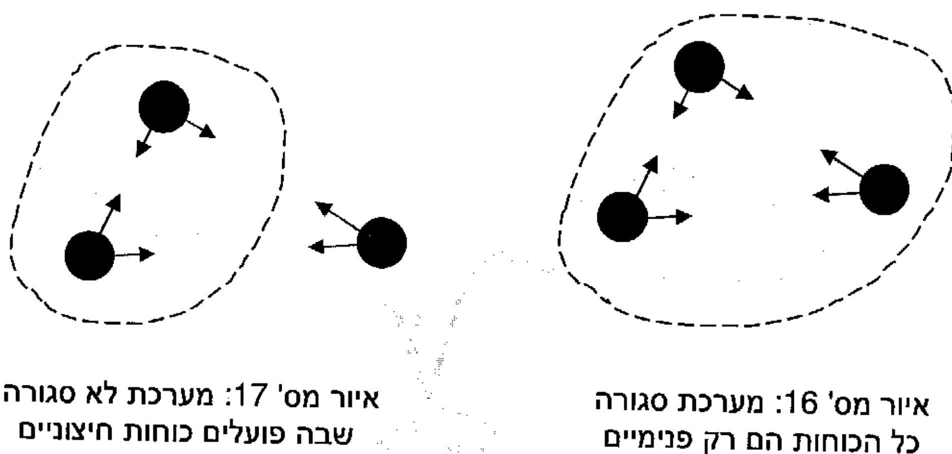
$$W = F_x \cdot \Delta x = ma \cdot \Delta x = m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2\Delta x}\Delta x = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$W = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

הביטוי המתמטי שקיבלנו ידוע בשם משפט עבודה – אנרגיה קינטית. עבודת הכוח השקול שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף.

7.10 מערכת סגורה

מערכת סגורה היא קבוצת גופים, מבודדים מגופים שלא שייכים למערכת, ואף גוף לא יכול להיכנס או לצאת ממנה. הכוחות, שהגופים הנמצאים בתוך המערכת הסגורה מפעילים אחד על השני, נקראים כוחות פנימיים. כוחות, הפועלים על הגופים של המערכת הסגורה מבחוץ, נקראים כוחות חיצוניים. במקרה של פעולת כוחות חיצוניים המערכת היא סגורה, אך ורק אם סכום כל הכוחות החיצוניים שווה לאפס. מאוד חשוב לציין, שסכום כל הכוחות הפנימיים בתוך מערכת סגורה **תמיד** שווה לאפס.
נוח להסביר את מושג הכוחות החיצוניים והפנימיים והמערכת הסגורה באמצעות איורים . החצים הכחולים הם כוחות פנימיים, והחצים האדומים הם כוחות חיצוניים.



איור מס' 16: מערכת סגורה
כל הכוחות הם רק פנימיים

איור מס' 17: מערכת לא סגורה,
שבה פועלים כוחות חיצוניים

בפתרון בעיות רצוי לבחור מערכת עם כמות גופים קטנה ככל שאפשר. הרחבת המערכת מביאה לקשים בפתרון הבעיה. אנו תמיד יכולים להרכיב מערכת שאינה סגורה, ולסגור אותה באמצעות הוספת גופים שהיו מחוץ לה.

7.11 כוחות משמרים

ידיעת הערך המספרי של אנרגיה מסוג מסוים מאפשרת לנו לחשב את מיקום הגוף או את מהירותו. במקרים מסוימים, תנועת הגופים מלווה בשינוי צורת האנרגיה המכאנית שלהם, כלומר, אנרגיה פוטנציאלית הופכת לאנרגיה קינטית, או להפך. כל שינוי באנרגיית הגוף הוא תוצאה של הפעלת כוח על ידי גוף אחר. במקרה של גוף אלסטי שינוי האנרגיה מתרחש עקב השפעה הדדית בין חלקים שונים של הגוף. במילים אחרות, כל שינוי באנרגיה נגרם על ידי כוח מסוים, או מספר כוחות, הפועלים על הגוף. לא כל כוח גורם לשינוי כמותי של האנרגיה המכאנית הכוללת שיש לגוף. ישנם כוחות הגורמים רק לשינוי סוג האנרגיה, ללא שינוי כמותי של האנרגיה המכאנית הכוללת.

למשל, בזמן נפילה חופשית מתרחש מעבר מאנרגיה פוטנציאלית כובדית של הגוף לאנרגיה קינטית. עקב השפעה של כוח הכבידה מהירות הגוף הולכת וגדלה וכך גם האנרגיה הקינטית של הגוף. באותו הזמן הגובה של הגוף הנופל הולך וקטן, כלומר, האנרגיה הפוטנציאלית שלו הולכת וקטנה. תהליך גלגולי אנרגיה דומה מתרחש בתנועת הגוף קשור לקפיץ על פני מישור אופקי וחלק. משטח חלק מתייחס למשטח חסר חיכוך. נתבונן, למשל, בתנועת עגלה קטנה הקשורה לקפיץ (איור מס' 18).



איור מס' 18

ננתח את התנועה מרגע שחרור העגלה ממצב מנוחה. ברגע זה האנרגיה של מערכת הגופים (קפיץ – עגלה) היא האנרגיה האלסטית של הקפיץ המתוח. האנרגיה הקינטית של העגלה היא אפס, כי מהירותה היא אפס. כעבור פרק זמן מסוים הכוח האלסטי של הקפיץ יגרום להתכווצותו. האנרגיה האלסטית של הקפיץ תהיה קטנה יותר, כי הקפיץ יהיה מתוח פחות. באותו הזמן הכוח האלסטי של הקפיץ גורם לתנועת העגלה ומעניק לה אנרגיה קינטית. מתרחש תהליך, שבו האנרגיה האלסטית של הקפיץ הופכת לאנרגיה קינטית של העגלה. כוח הכבידה והכוח הנורמלי מאונכים לכיוון התנועה של העגלה, והעבודה שלהם שווה לאפס.

מתוך שתי הדוגמאות שלמעלה (נפילה חופשית ותנועת עגלה קשורה לקפיץ), ושבהן מתרחשים גלגולי אנרגיה, ניתן להסיק מסקנה חשובה: קיימים כוחות, שלא גורמים לשינוי כמותי של האנרגיה המכאנית. ערך האנרגיה המכאנית של מערכת, שבה פעלו הכוחות, נשמר, אך סוג האנרגיה משתנה. כוחות מסוג זה נקראים כוחות משמרים. תכונה של הכוח המשמר היא שתוצאת פעולתו מלווה אך ורק בשינוי צורת האנרגיה המכאנית, ולא בערך שלה. כוחות משמרים במכניקה הם :

א. כוח הכובד - $W = mg$
ב. כוח אלסטי - $F_e = kx$

כאשר גוף, הנע במסלול סגור (איור מס' 19), חוזר לנקודת המוצא, העבודה של כוח משמר (כוח משיכה או כוח אלסטי), שפעל עליו, שווה לאפס. על פי ההגדרה של עבודה, אין שינוי באנרגיה. משמעות הדבר: עבודה של כוח משמר אינו תלויה בצורת המסלול.

$$W = E_2 - E_1$$



$$W_{1\to2} = E_2 - E_1$$
$$W_{2\to1} = E_1 - E_2$$
$$W = W_{1\to2} + W_{2\to1} =$$
$$= E_2 - E_1 - (E_1 - E) = 0$$

איור מס' 19

7.12 חוק שימור האנרגיה המכאנית

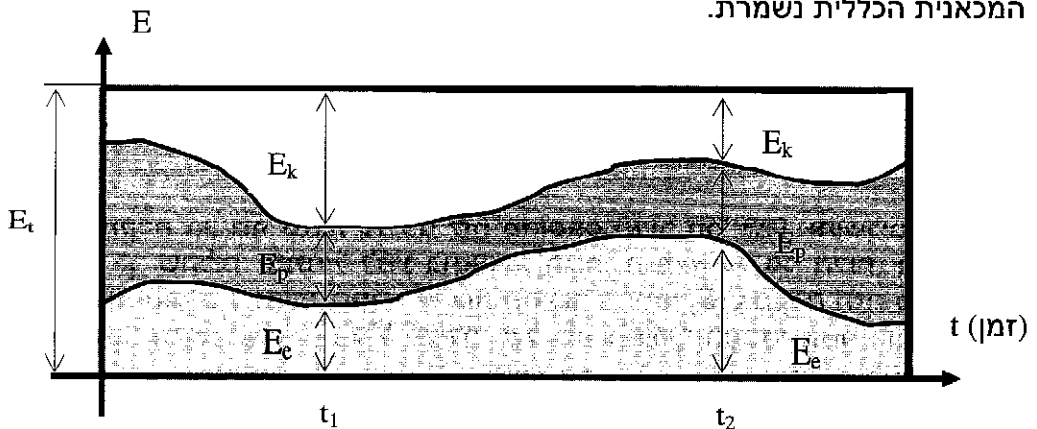
ראינו ,שבמקרה בו פועלים כוחות משמרים, האנרגיה הכללית של הגוף או מערכת הגופים נשארת ללא שינוי, אך והיא עוברת מגוף לגוף, או משנה את צורתה. חוק שימור האנרגיה אומר, שאנרגיה לא נוצרת מאין,ולא הולכת לאיבוד. ערך האנרגיה המכאנית בתוך מערכת סגורה, שבה בין הגופים פועלים אך ורק כוחות משמרים, תמיד נשמר. הביטוי המתמטי לחוק שימור האנרגיה במכניקה הוא:

$$E_k + E_p + E_e = const$$

ביטוי מתמטי של חוק שימור האנרגיה, שיותר נוח לפתרון בעיות הוא:

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2}$$

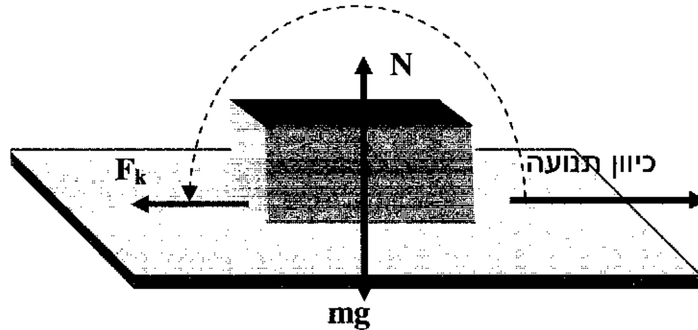
הספרה 1 מתייחסת למצב ההתחלתי של מערכת גופים, והספרה 2 מתייחסת למצב הסופי של מערכת הגופים. האיור הבא (איור מס' 20) מתאר את חוק שימור האנרגיה המכאנית באמצעות דיאגראמה. בכל אחד משני רגעים שונים כלשהם האנרגיה המכאנית הכללית נשמרת.



איור מס' 20

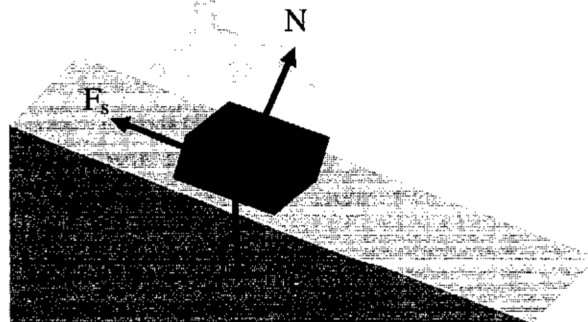
7.13 עבודת כוח החיכוך

תחילה נטפל במקרה בו כוח חיכוך קינטי פועל על גוף נע, וכיוון כוח החיכוך במגמה הפוכה לכיוון תנועת הגוף (איור מס' 24). במקרה הזה הזווית בין כיוון פעולת הכוח לבין כיוון התנועה היא 180°, ועבודת כוח החיכוך הקינטי היא שלילית.



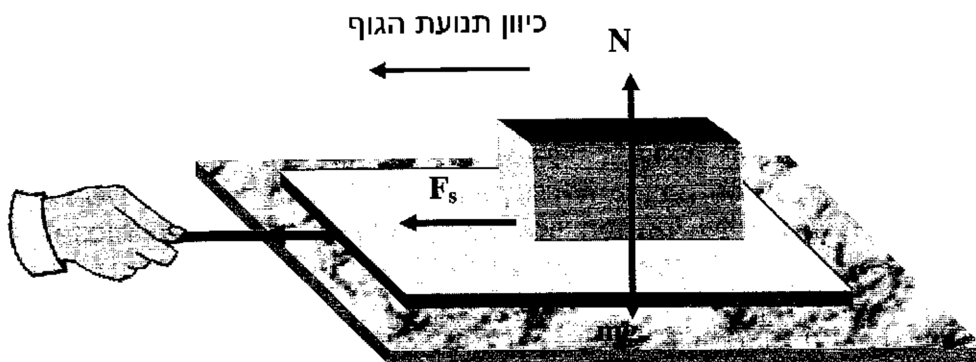
איור מס' 21

כוח חיכוך סטטי פועל בין גופים, הנמצאים במנוחה האחד יחסית לשני. במקרה זה עבודת כוח החיכוך הסטטי שווה לאפס, כי ההעתק הוא אפס. למשל, באיור מס' 22 מתואר גוף, הנמצא במצב מנוחה על פני מישור משופע, ועבודת כוח החיכוך הסטטי היא אפס.



איור מס' 22

נתבונן במקרה בו, גוף נמצא על פני לוח מחוספס (איור מס' 23), ומושכים את הלוח בכוח **F**, כך שהלוח מתחיל לנוע בתאוצה. הגוף, הנמצא על פני הלוח, נע יחד עם הלוח. הכוח הגורם לתנועת הגוף הוא כוח החיכוך הסטטי F_s. במקרה הזה כוח החיכוך הסטטי כבר מבצע עבודה. בגלל פעולתו של כוח החיכוך הסטטי הגוף רוכש אנרגיה קינטית. כאשר מקטינים את הכוח **F** המושך את הלוח, הלוח מגיעים למצב בו הוא מתחיל לנוע במהירות קבועה. ברגע זה כוח החיכוך הסטטי שווה לאפס, ולא מבצע עבודה.

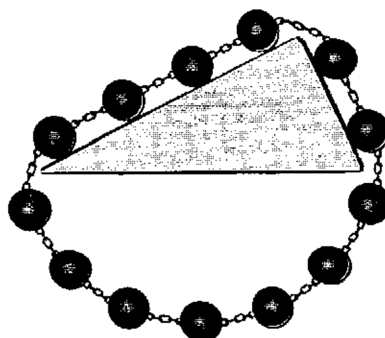


איור מס' 23

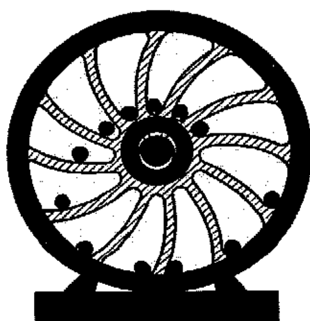
ישנם מקרים, בהם כוח החיכוך הקינטי מבצע עבודה חיובית. למשל, משיכה פתאומית של לוח עם גוף הנמצא עליו גורמת להחלקת הגוף אחורה יחסית ללוח ובו זמנית להתקדמות הגוף בכיוון המשיכה. כוח החיכוך הקינטי במקרה הנ"ל מבצע עבודה חיובית.

7.14 מנוע נצחי

זמן רב אנשים ניסו לבנות מכונות לביצוע עבודה ללא מקור אנרגיה חיצוני. מנוע מסוג זה נקרא מנוע נצחי. באיורים מס' 25, 24 מתוארות מכונות לקבלת אנרגיה יש מאין. כמובן, חוק שימור האנרגיה סותר פעילותה של מכונה ללא מקור אנרגיה חיצוני. לכן אין צורך לחפש אחר השגיאה במבנה של המכונה.



איור מס' 25



איור מס' 24

7.15 שימוש בחוק שימור האנרגיה המכאנית

נדון תחילה בפתרון בעיות של תנועה גוף אחד בהשפעת כוח הכובד בלבד. המקרה הכללי הוא תנועה גופים באוויר, כאשר ניתן להזניח בהתנגדות אוויר: נפילה חופשית, זריקות אנכיות וזריקה אופקית. הבעיה היא, שחוק שימור האנרגיה המכאנית מתייחס למערכת גופים סגורה, ולא לגוף אחד. הגוף השני במערכת הוא כדור הארץ, ושינוי האנרגיה שלו קטן מאוד, כי מסה כדור הארץ גדולה בהרבה ממסת הגופים הנמצאים עליו. כתוצאה מכך אנו יכולים להשתמש בביטוי המתמטי של חוק שימור האנרגיה המכאנית, גם לתיאור תנועת גוף בודד בהשפעת כוח הכובד.

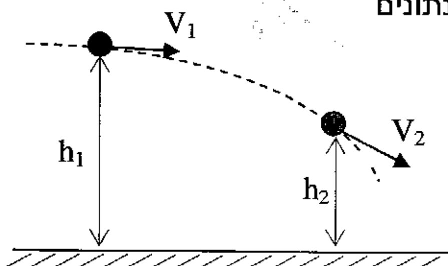
דוגמא 1. מהירות גוף הנזרק אופקית בגובה 5m מעל פני כדור הארץ היא 10m/sec. באיזה גובה מהירות הגוף תהייה 12m/sec? (איור מס' 26)

פתרון: הכוח היחיד שפועל על גוף הוא כוח הכובד, כלומר, אנו יכולים להשתמש בחוק שימור האנרגיה המכאנית. על מנת להשתמש בחוק בוחרים שתי נקודות: האחת, שהגובה
ומהירות הגוף בה ידועים, והשנייה, שבה רק המהירות ידועה לנו. שני המצבים מתוארים באיור שלמטה. נרשום את משוואת החוק בצורה הבאה:

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

לאחר צמצום במסה והצבת הנתונים
מקבלים תשובה $h_2 = 2.8m$

נתון:
$h_1 = 5m$
$v_1 = 10m/sec$
$v_2 = 12\ m/sec$
$h_2 = ?$

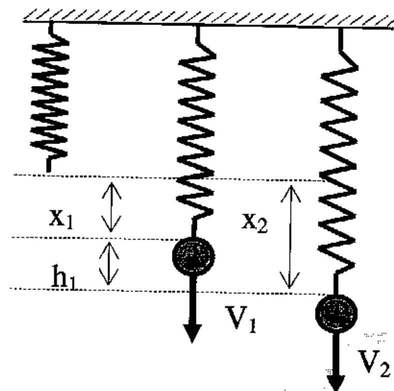


איור מס' 26

מקרה אחר, בו ניתן להשתמש בחוק שימור האנרגיה המכאנית, הוא תנועת גוף, הקשור לקפיץ לאורך קו אנכי.

דוגמא 2 . גוף, שמסתו 2kg, קשור לקצה אחד של קפיץ, שהקבוע שלו 100N/m. הקצה השני של הקפיץ מחובר לתקרה. ההתארכות של הקפיץ במצב שיווי משקל היא 0.2m. מעניקים לגוף הנמצא בנקודת שיווי המשקל מהירות 4m/sec כלפי מטה. מהי מהירות הגוף ברגע בו התארכות הקפיץ שווה 0.3m? מסת הקפיץ זניחה (איור מס' 27).

פתרון: נתחיל מציור שני המצבים של המערכת, שכוללת את הגוף, הקפיץ וכדור הארץ, כי למעשה, הקצה השני של הקפיץ מחובר אליו.



איור מס' 27

נתון

$m = 2kg$

$k=100N/m$

$h_1= 0.1m$

$h_2= 0$

$v_1= 4m/sec$

$x_1= 0.2m$

$x_2= 0.3m$

$g = 10m/sec^2$

$v_2= ?$

אנו יכולים להשתמש בחוק שימור האנרגיה המכאנית, כיוון שהאנרגיה שמקבל כדור הארץ קטנה מאוד. נרשום את משוואת החוק בצורה הבאה:

$$mgh_1+\frac{mv_1^2}{2}+\frac{kx_1^2}{2}=mgh_2+\frac{mv_2^2}{2}+\frac{kx_2^2}{2}$$

ולאחר הצבת הנתונים נקבל את התשובה: $v_2=3.94m/sec$.

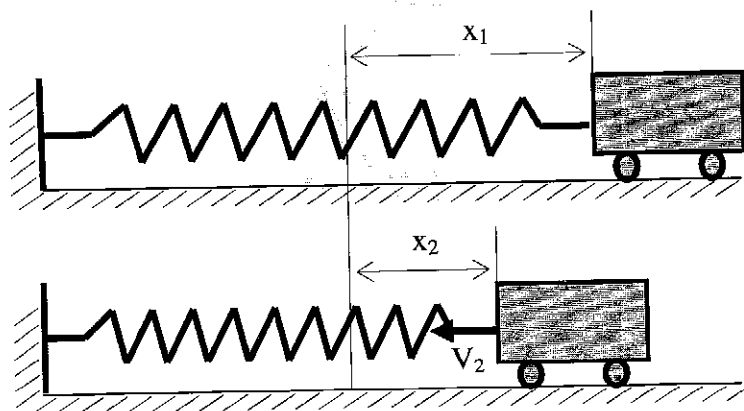
מקרים אחרים הם תנועת גוף על פני מישור משופע חלק, תנועה גופים הקשורים זה לזה באמצעות חוט, או תנועת גוף הקשור לקפיץ. מערכת הגופים במקרה זה, גם היא כוללת את כדור הארץ.

דוגמא 3. משחררים עגלה, הקשורה לקפיץ מתוח בשיעור של 0.4m. הקצה השני של הקפיץ מחובר לקיר. מסת העגלה 2kg. קבוע הכוח של הקפיץ 160N/m. מהי מהירות העגלה כאשר התארכות הקפיץ היא 0.3m? (איור מס' 28)

פתרון: נתחיל מתרשים המתאר את שני המצבים של המערכת הכוללת עגלה, קפיץ וכדור הארץ. כדור הארץ נכלל במערכת, כי למעשה, הקצה השני של הקפיץ מחובר אליו. אנו יכולים להשתמש בחוק שימור האנרגיה המכאנית, כיוון שהאנרגיה שמקבל כדור
הארץ קטנה מאוד. נרשום משוואת החוק בצורה הבאה:

$$\frac{mv_1^2}{2}+\frac{kx_1^2}{2}=\frac{mv_2^2}{2}+\frac{kx_2^2}{2}$$

$V_1=0$ - עגלה מתחילה לנוע ממצב מנוחה. לאחר הצבת הנתונים וביצוע חישובים מקבלים $V_2=2.37\text{m/sec}$.



איור מס' 28

7.16 הספק

לעתים כאשר מדובר על ביצוע עבודה מסוימת, אנו רוצים לדעת גם מהי כמות העבודה וגם משך הזמן הדרוש לביצועה. עקב כך יש צורך במונח חדש – ההספק. הספק הוא העבודה הנעשית ביחידת זמן, או במילים אחרות, ההספק הוא קצב ביצוע העבודה.

הנוסחה לחישוב הספק:

$$P_{av} = \frac{W}{t}$$

P – הספק (W)
W – עבודה (J)
t - זמן (sec)

כאשר קצב ביצוע העבודה לא אחיד הנוסחה שלמעלה נותנת לנו הספק הממוצע.
הספק הריגעי מחשבים בעזרת הנוסחה:

בתנאי ש - Δt הוא פרק הזמן השואף לאפס.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

במערכת יחידות SI מודדים הספק בוואט. 1ואט=1W הוא ההספק, כאשר בכל שנייה מבוצעת עבודה של 1ג'אול.

את הספק הריגעי של גוף הנע במהירות מסוימת תחת השפעת כוח אנו יכולים לחשב גם בעזרת הנוסחה הבאה:

$$\mathbf{P = F \times v}$$

P – הספק (W)
F – כוח (N)
v- מהירות (m/sec)

יחידה שימושית אחרת של הספק היא כוח כוס. 1CV= 1כ"ס = 736ואט.הספק כוח סוס בריטי 746W=1HP. יחידת העבודה והאנרגיה 1ג'אול היא יחסית קטנה. בחיי היום-יום משתמשים ביחידה בשם 1קילוואט שעה. 1קילוואט שעה זו העבודה בה הספק הוא 1000וואט וזמן ביצוע העבודה שעה אחת.
עבודה של 1kW×h=1קוט"ש = 3,600,000ג'אול = 3.6MJ .

7.17 נצילות

האנרגיה המכנית הכללית נשמרת רק במקרים אידיאליים. במציאות כל שינוי מלווה בהקטנת האנרגיה המכאנית. בתום תהליך מעבר אנרגיה מגוף לגוף אחר, או בתום תהליך מעבר אנרגיה מצורה אחת לצורה אחרת, האנרגיה ההתחלתית שאנו משקיעים תמיד קטנה מהאנרגיה המופקת, או מכמות העבודה המופקת. גורם פיסיקאלי המאפיין את מעברי האנרגיה הוא הנצילות. הנצילות מוגדרת כיחס בין העבודה המופקת לבין האנרגיה המושקעת. הסימן של הנצילות הוא האות היוונית η.
כאשר הנצילות נמדדת באחוזים הנוסחה הבאה משמשת לחישוב הנצילות:

W_{out}- עבודה מופקת (עבודה מנוצלת)
E_{in} - אנרגיה מושקעת

$$\eta=\frac{W_{out}}{E_{in}}100\%$$

בחישובים נוח להחליף את האחוזים בשבר עשרוני, והנוסחה היא:

$$\eta=\frac{W_{out}}{E_{in}}$$

ניתן לחשב את הנצילות גם בעזרת הנוסחה:

P_{out}- הספק מופק (הספק מנוצל)
P_{in}- הספק מושקע

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}$$

7.18 בעיות

אנרגיה פוטנציאלית

1. גוף שמסתו 800gr נמצא בגובה של 50cm. מהי האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף?
(3.92J)

2. משקל הכדור 0.2N והאנרגיה הפוטנציאלית שלו שווה 16J. מהו גובה הכדור?
(80m)

3. גוף שמסתו 2kg נמצא על פני שולחן. גובה השולחן 75cm.
א. מהי האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף ביחס לשולחן?
ב. מהי האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף ביחס לרצפה?
(א. 0, ב. 14.72J)

4. כדור, שמסתו 600gr, נמצא בגובה 4m. כדור שני, שמסתו 5kg, נמצא בגובה 40cm. לאיזה כדור יש יותר אנרגיה פוטנציאלית? (לכדור הראשון)

5. מסתו של ארגז 25kg. מהי האנרגיה הפוטנציאלית שלו, כאשר:
א. הארגז נמצא בגובה 3m על פני כדור הארץ?
ב. הארגז נמצא בגובה 3m על פני ירח? ($g_{ירח}=1.62m/sec^2$)
(א. 735.75J, ב. 121.5J)

6. האנרגיה הפוטנציאלית של גוף הנמצא בגובה 3m היא 6J.
מהו משקלו? (2N)

7. האנרגיה הפוטנציאלית של כדור 50J וגובהו 200m. מהי מסת הכדור?
(0.025kg)

8. כדור נמצא על פני הירח. האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור 162J. משקל הכדור 32.4N.
א. מהי מסת הכדור? ($g_{ירח}=1.62m/sec^2$)
ב. באיזה גובה מעל פני הירח נמצא הכדור?
(א. 20kg, ב. 5m)

אנרגיה קינטית

1. כדור שמסתו 3kg נע במהירות 4m/sec. מהי האנרגיה הקינטית שלו? (24J)

2. ציפור שמסתה 50gr עפה במהירות של 6m/sec. מהי האנרגיה הקינטית שלה?
(0.9J)

3. מכונית נעה במהירות של 20m/sec. האנרגיה הקינטית שווה 200,000J. מהי מסת המכונית? (1000kg)

4. האנרגיה הקינטית של אדם שווה 750J, ומשקלו 588.6N. מהי מהירותו?
(5m/sec)

5. האנרגיה הקינטית של קליע 1800J, ומסתו 10gr. מהי מהירות הקליע?
(600m/sec)

6. כדור, שמסתו 10gr, נע במהירות של 400m/sec. כדור שני, שמסתו 2kg, נע במהירות 15m/sec. לאיזה כדור יש יותר אנרגיה? (לכדור הראשון)

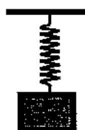
7. קליע, שנע במהירות של 250m/sec, פגע בקיר וחדר לתוכו לעומק של 10cm. לאיזה עומק בקיר יחדור הקליע אם מהירותו תהיה 500m/sec? (40cm)

אנרגיה אלסטית

1. קבוע הקפיץ 600N/m והתארכותו 20cm. מהי האנרגיה האלסטית של הקפיץ?
(12J)

2. אנרגיה אלסטית של קפיץ מתוח שווה ל- 50J והתארכותו 2cm.
א. מהו קבוע הקפיץ?
ב. מהו הכוח שפועל על הקפיץ?
(א. 250kN/m, ב. 5kN)

3. אנרגיה אלסטית של הקפיץ שווה ל- 0.25J וקבוע הקפיץ 200N/m.
א. מהי התארכות הקפיץ?
ב. מהו הכוח שפועל על הקפיץ?
(א. 0.05m, ב. 10N)



4. גוף שמסתו 4kg תלוי על קפיץ וגורם להתארכותו ב- 8cm.
א. מהו קבוע הקפיץ?
ב. מהי האנרגיה האלסטית של הקפיץ?
(א. 490.5N/m, ב. 1.57J)

5. קבוע הקפיץ של קפיץ א' שווה ל- 40N/m, וקבוע הקפיץ של קפיץ ב' - 60N/m.
מהו קבוע הקפיץ של מערכת הקפיצים כאשר נחבר את שני הקפיצים:
א. במקביל?
ב. בטור?
ג. מהי האנרגיה האלסטית של המערכת חיבור טורי, אם התארכותו של קפיץ א' 3cm?
(א. 100N/m, ב. 24N/m , ג. 0.0108J)

6. גוף שמסתו 4kg תלוי על קפיץ שקבוע 400N/m. מהי האנרגיה האלסטית האצורה
בקפיץ? (1.92J)

עבודה

1. כוח אופקי, שגודלו 5N, משך גוף לאורך מרחק של 4m. מהי עבודת הכוח?
(20J)

2. כוח אופקי שגודלו 25N ביצע עבודה של 40J. איזה מרחק עבר הגוף? (1.6m)

3. כוח קבוע של 20N מושך גוף בזווית 30^0 מעל קו האופק לאורך מרחק של 50m.
מהי עבודת הכוח? (866.3J)

4. כוח קבוע שגודלו 25N ביצע עבודה של 400J. בזמן הזה הגוף עבר מרחק של 40m. מהי הזווית בין כיוון הכוח לבין כיוון תנועת הגוף? (66.42^0)

5. כוח אופקי, שגודלו 5N , משך גוף במהירות קבועה של 3m/sec במשך 20sec.
מהי עבודת הכוח? (300J)

6. כוח אופקי, שגודלו 5N, משך גוף, שמסתו 10kg, במהירות קבועה של 2m/sec במשך 10sec. לפני פעולת הכוח הגוף היה במנוחה. מהי עבודת הכוח? (100J)

7. גוף שמסתו 2kg נופל מגובה 30m. מהי העבודה של כוח הכבידה? (588.6J)

8. גוף שמסתו 2kg נע בתאוצה של $5m/sec^2$.
א. מהו גודל הכוח?
ב. איזה מרחק עבר הגוף במשך 10sec, אם לפני פעולת הכוח מהירותו הייתה 4m/sec ?
ג. מהי עבודת הכוח במשך 10sec של תנועת הגוף?
(א. 10N, ב. 290m, ג. 2900J)

9. כוח אופקי של 5N משך גוף לאורך מרחק של 20m. בזמן התנועה על הגוף פועל בנוסף כוח חיכוך של 3N.
א. מהי עבודת הכוח?
ב. מהי העבודה של כוח חיכוך?
ג. מהי העבודה שקולה? (מהי העבודה של הכוח השקול?)
(א. 100J, ב. 60J-, ג. 40J)

10. גוף שמסתו 2kg קשור לחוט ונמשך כלפי מעלה בתאוצה של $5m/sec^2$ לגובה של 100m.
א. מהו כוח המתיחות שמפעיל החוט?
ב. מהי העבודה של כוח הכבידה?
ג. מהי העבודה של כוח המתיחות?
(א. 29.62N, ב. 1962J, ג. 2962J)

11. גוף שמסתו 2kg מחליק על פני מישור מחוספס עד עצירתו במרחק של 4m.
מקדם החיכוך הקינטי 0.3.
א. מהו גודל כוח חיכוך?
ב. מהי העבודה של כוח החיכוך?
(א. 5.89N , ב. 23.54J-)

12. שרשרת שאורכה 0.4m מונחת על שולחן. מהי העבודה הדרושה להרמתה בקצה אחד לגובה השווה לאורך שלה? מסת השרשרת 100gr. (0.196J)

הספק

1. כוח מסוים ביצע עבודה של 600J במשך 12sec. מהו ההספק? (50W)

2. הספק מנוע חשמלי 2000W . כמה עבודה ביצע המנוע במשך 15sec? (30kJ)

3. הספק מנוע 3000W והוא ביצע עבודה של 60,000J. כמה זמן פעל המנוע? (20sec)

4. כוח של 200N משך גוף לאורך מרחק 600m במשך 100sec.
   א. מהי עבודת הכוח?
   ב. מהו הספק הכוח?
   (א. 120kJ , ב. 1.2kW)

5. כוח של 40N מושך גוף במהירות של 2m/sec. מהו ההספק? (80W)

6. כוח של 100N פעל על גוף שמסתו 50kg במשך 6sec. לפני פעולת הכוח מהירות הגוף הייתה 2m/sec.
   א. מהו ההספק ההתחלתי?
   ב. מהו ההספק הסופי?
   ג. מהו ההספק הממוצע?
   (א. 200W, ב. 1400W, ג. 800W)

7. טיל שמסתו 12,000kg עומד על הלהבה (עמוד הגזים היוצאים מהמנוע). מהירות הגזים היוצאים מהמנוע 2000m/sec. מהו הספק המנוע? (117.72MW)

חוק השימור אנרגיה מכנית

1. גוף נזרק אופקית מגובה 20m במהירות של 15m/sec. באיזה מהירות הוא יפגע בקרקע? (24.85m/sec)

2. גוף נזרק בזווית ביחס לכיוון האופקי במהירות של 35m/sec . מהי מהירותו בגובה של 20m מעל פני הקרקע? (28.85m/sec)

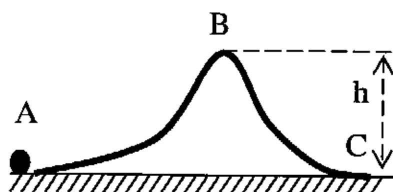
3. כדור שמסתו 1kg נע במהירות 40m/sec ופוגע בקפיץ שקבוע 1200N/m.
   א. מהי ההתכווצות המכסימלית של הקפיץ?
   ב. מהי התכווצות הקפיץ ברגע בו מהירות הכדור הייתה 25m/sec?
   (א. 1.15m, ב. 0.9m)



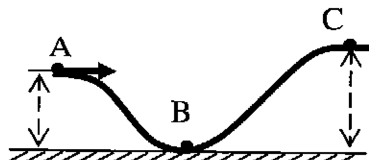
4. שני גופים שונים מתחילים לנוע מאותו הגובה על פני מישור משופע חלק, כמוראה באיור. לאיזה גוף תהיה מהירות גבוהה יותר בתחתית המדרון?
(המהירויות שוות)

5. גוף שמסתו 2kg נזרק למעלה במהירות של 50m/sec.
א. מהי האנרגיה הקינטית בתחילת תנועת הגוף?
ב. מהי הנקודה הגבוהה ביותר שאליה יגיע הגוף?
(א. 2500J , ב. 127.42m)

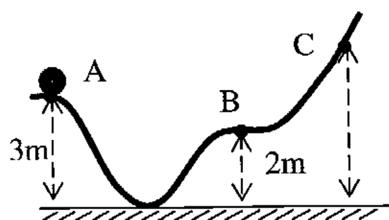
6. על קפיץ מכווץ ב - 20cm נמצא כדור שמסתו 10gr . קבוע הקפיץ 500N/m.
לאחר שחרור הקפיץ נזרק הכדור כלפי מעלה.
א. מהי האנרגיה האלסטית של הקפיץ לפני השחרור?
ב. מהי מהירות הכדור ברגע הזריקה?
ג. לאיזה גובה מרבי יגיע הכדור?
(א. 10J, ב. 44.72m/sec, ג. 101.94m)



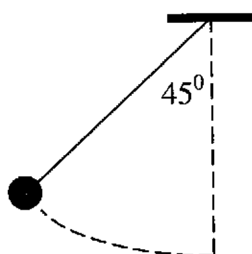
7. המסילה המתוארת באיור חלקה. מהירות הכדור בנקודה A שווה 8m/sec. מהצריך להיות הגובה המכסימלי של הנקודה B מעל פני הקרקע, על מנת שהכדור יגיע לנקודה C ?
(V>3.262m/sec)



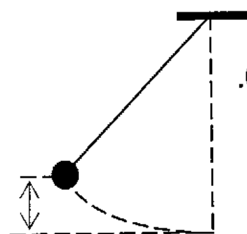
8. המסילה המתוארת באיור חלקה. מהירות הכדור בנקודה A שווה 5m/sec . הגובה של הנקודה A מעל המשטח האופקי הוא 1m. הגובה של הנקודה C מעל המשטח האופקי הוא 1.8m
א. מצא את מהירות הכדור בנקודה B .
ב. מצא את מהירות הכדור בנקודה C.
ג. מה צריך להיות הגובה המינימאלי של הנקודה C כך שהכדור לא יגיע לנקודה?
(א. 6.68m/sec, ב. 3.05m/sec, ג. 2.27m)



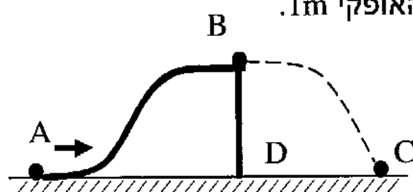
9. כדור קטן נע על פני מסלול חלק המתואר באיור הבא. בנקודה B, שגובהה 2m, מהירות הגוף הנה 5m/sec.
   א. מהי מהירות הגוף בנקודה A?
   ב. מהו גובה הנקודה C, אם בה הגוף ייעצר?
   (א. 6.68m/sec, ב. 3.05m/sec, ג. 2.27m



10. כדור קשור לחוט שאורכו $L = 1m$. החוט מוחזק כך שהוא יוצר עם האנך זווית בת $\alpha = 45^0$. משחררים את הכדור ממצב מנוחה.
    א. באיזו מהירות הוא יעבור את הנקודה הנמוכה ביותר של מסלולו?
    ב. לאחר שהגוף יעבור את הנקודה הנמוכה ביותר הוא ימשיך לנוע ימינה. לאיזה גובה מרבי מעל נקודת שיווי- המשקל היא יגיע?
    (א. 4.43m/sec, ב. 0.29m)

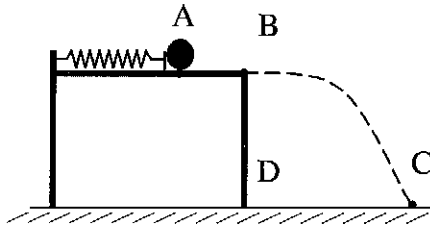


11. כדור שמסתו 2kg קשור לחוט שאורכו $L = 1m$. מסיטים את החוט שמאלה כך, שהכדור יעלה לגובה 0.1m. משחררים את הכדור ממצב מנוחה.
    א. באיזו מהירות הוא יעבור את הנקודה הנמוכה ביותר של מסלולו?
    ב. מהו כוח המתיחות בנקודה זאת?
    (א. 1.40m/sec, ב. 3.92N)



12. המסילה שבאיור חלקה. מהירות הכדור בנקודה A 10m/sec. הגובה של הנקודה B מעל המשטח האופקי 1m.
    א. מצא את מהירות הכדור בנקודה B.
    ב. מהי מהירות הכדור בנקודה C?
    ג. כמה זמן חלף מרגע שהכדור ניתק מהמסילה (בנקודה B) עד פגיעתו ברצפה בנקודה C?
    ד. מהו המרחק DC ?
    (א. 8.97m/sec, ב. 10m/sec, ג. 0.45sec , ד. 4.05m)

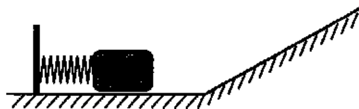
13. כדור שמסתו 100gr נמצא על פני שולחן אופקי חלק. גובה השולחן 0.8m. הכדור נצמד לקפיץ המכווץ ב - 25cm. קבוע הקפיץ 600N/m. המרחק AB גדול מ- 25cm.



א. מצא את מהירות הכדור בנקודה B .
ב. מצא את מהירות הכדור בנקודה C.
ג. כמה זמן חלף מרגע שהכדור ניתק מהמסילה (בנקודה B) עד פגיעתו ברצפה בנקודה C?
ד. מהו המרחק DC ?

(א. 19.36m/sec, ב. 19.77m/sec ג. 0.40sec , ד. 7.82m)

14. גוף שמסתו 0.5kg צמוד לקפיץ המכווץ בשיעור של 0.2m.
משחררים את הקפיץ, והגוף מתחיל לנוע על רצפה אופקית חלקה, ולאחר מכן נע במעלה מישור משופע חלק.
קבוע הכוח של הקפיץ הוא 100N/m.
אפשר להזניח את מסת הקפיץ.



א. חשב את המהירות שבה ינוע הגוף על הרצפה האופקית, לאחר שהקפיץ יחזור לאורכו הרפוי.
ב. חשב את הגובה של הנקודה שבה ייעצר הגוף.
(א. 4m/sec, ב. 0.82m)

15. גוף נזרק כלפי מעלה במהירות של 30m/sec. באיזה גובה האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף שווה למחצית האנרגיה הקינטית? (15.29m)

16. שרשרת שאורכה 1.2m מוחזקת על פני שולחן אופקי חלק, כך ששליש ממנה נמצאת באוויר.עקב דחייה קלה היא מתחילה לפול מהשולחן.
מהי מהירותה כאשר היא ניתקה מהשולחן השולחן? (2.80m/sec)

עבודה ואנרגיה

1. כוח אלסטי משנה אנרגיה של קפיץ מ - 200J ל- 40J. מהי עבודתו? (-160J)

2. מהי העבודה הדרושה להרמת קצה אחד עמוד עץ השוכב על הקרקע. אורך העמוד 0.5m ומסתו 100kg ? (245.25J)

3. בתוך מיכל תת- קרקעי נמצאים 50,000kg מים . עומק המיכל 10m.
מהי העבודה הדרושה לריקון המיכל? (2.45MJ)

4. מהי העבודה הדרושה לבניית מיגדל מ - 10 בלוקים, שמסת כל אחד מהם 4kg. עובי הבלוק 12cm. כל הבלוקים נמצאים בהתחלה על הרצפה . (23.54J)

5. מהי העבודה הדרושה להרמת שרשרת שאורכה 40cm, כך שקצה אחד שלה נוגע ברצפה? מסת השרשרת 2kg . (3.92J)

6. קוויה, שמסתה 250gr, מונחת על מישור אופקי. אורך הצלע 20cm. מהי העבודה הדרושה להפיכת הקביה? (0.1J)

7. חרוט אחיד שמסתו 50kg מונח על מישור אופקי. גובה החרוט 30cm. רדיוס הבסיס 10cm. מהי העבודה הדרושה להפיכת החרוט? (20.32J)

8. כדור שמסתו 250gr נופל בנפילה חופשית מנקודה A ל - B . מהירות הכדור בנקודה B 15m/sec.
   א. מהו אורך הקטע AB?
   ב. מהי העבודה של כוח הכבידה?
   (א. 11.48m , ב. 28.13J)

9. בול עץ שמסתו 4kg נע במהירות של 5m/sec ונעצר בשל כוח חיכוך שגודלו 20N.
   א. מהי האנרגיה הקינטית שהייתה לגוף לפני העצירה?
   ב. מהי עבודת כוח החיכוך?
   ג. מהו המרחק שעבר הבול?
   (א. 50J, ב. -50J , ג. 2.5m)

10. הספק מנוע של משאבת מים 200W. מהו הספק המנוע הנדרש כדי שהמשאבה תוכל להעביר באותו פרק זמן כמות מים גדולה פי 3? (1800W)

11. מכונית נוסעת במהירות 10m/sec. לאחר שהיא עברה מרחק של 50m המהירות הייתה 15m/sec. מסת המכונית 1200kg .
   א. מהי האנרגיה הקינטית ההתחלתית?
   ב. מהי העבודה של כוח המנוע של המכונות?
   ג. מהו גודלו של כוח המנוע?
   (א. 60kJ, ב. 75kJ , ג. 1500N)

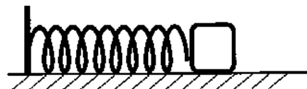
12. כוח של 10N מושך גוף שמסתו 2kg מרחק של 50m ומגדיל את אנרגיה ב- 500J. כמה אנרגיה יקבל גוף שמסתו 5kg, אם יופעל עליו אותו הכוח לאורך אותה הדרך? (500J)

13. גוף מתחיל לעלות לאורך מדרון במהירות של 3m/sec. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף לבין המדרון 0.2. זווית הנטייה 50^0. מהו גובה הנקודה ,שבה הגוף יעצור? (0.39m)

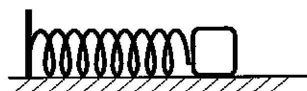
14. גוף שמסתו 4kg מתחיל לעלות לאורך מדרון במהירות של 3m/sec ונעצר בגובה 0.3m מעל נקודת המוצא. מהי העבודה של כוח חיכוך? (-6.23J)

15. גוף שמסתו 2kg עולה במעלה מישור משופע במהירות של 6m/sec ומגיע לגובה 0.5m במהירות 3m/sec. מהי העבודה של כוח החיכוך? (-17J)

16. גוף, שמסתו 0.5kg וצמוד לקפיץ מכווץ בשיעור 0.4m, השתחרר מהקפיץ במהירות 5m/sec. קבוע הקפיץ 200N/m. מהי העבודה של כוח החיכוך? (-9.75J)



17. גוף שמסתו 4kg צמוד לקפיץ המכווץ בשיעור של 0.3m. ברגע, שבו הגוף נע במהירות 1m/sec, התכווצות הקפיץ 0.1m. קבוע הכוח של הקפיץ 200N/m. מהי העבודה של כוח החיכוך? (-6J)

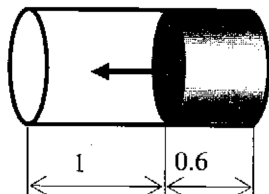


18. גוף מחליק ממדרון חלק שגובהו 2m ועובר 5m על פני מישור אופקי מחוספס עד שנעצר.
א. מהי מהירות הגוף בתחתית המדרון?
ב. מהו מקדם החיכוך בין הגוף לבין המישור האופקי?
(א. 6.26m/sec , ב. $\mu_k = 0.4$)

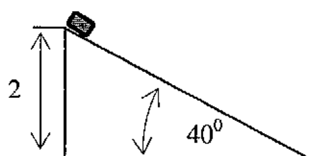
19. כדור שמסתו 10kg נע במהירות 6m/sec ופוגע בקפיץ הנמצא על מישור אופקי מחוספס. מקדם החיכוך הקינטי 0.8 . קבוע הקפיץ 200N/m.
א. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?
ב. מהי ההתכווצות כאשר מהירות הכדור 4m/sec?
(א. 1.01m, ב. 0.68m)

20. גוף שמסתו 1kg מתחיל להחליק ממישור משופע חלק, שזווית הנטייה שלו 40^0 וגובהו 2m. בתחתית המישור המשופע נמצא קפיץ רפוי, שקבוע 50N/m.
א. מהי ההתכווצות המרבית הקפיץ?
ב. מהי מהירות הגוף , כאשר הקפיץ מכווץ ב- 0.4m ?
ג. מהי מהירות הגוף בתחתית המדרון, אם מקדם החיכוך הקינטי 0.6 ?
ד. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ, אם מקדם החיכוך לאורך כל המסלול 0.6?
(א. 0.63m, ב. 3.41m/sec, ג. 3.34m/sec , ד. 0.40m)

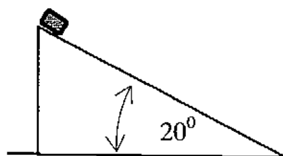
21. גוף שמסתו 6kg נמצא על גבול בין שני מישורים מחוספסים. מקדמי החיכוך הקינטי הם 0.2 ו – 0.4. אורך הגוף 0.5m.
מהי העבודה הדרושה כדי להעביר את הגוף ממישור אחד למישור האחר?
(8.83J)



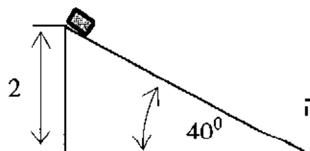
22. גליל שאורכו 0.6m נמצא בתוך צינור
במרחק 1m מקצה הצינור . כוח החיכוך בינו
לבין הצינור שווה ל - 200N.
מהי עבודה הדרושה להוצאת את הגליל מהצינור?
(260J)



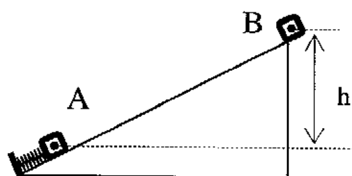
23. גוף שמסתו 0.5kg מחליק במורד מישור
משופע מחוספס במהירות 3m/sec
ובתחתית המדרון מגיע למהירות 5m/sec.
מהי העבודה של כוח החיכוך?
.(-5.81J)



24. גוף מחליק במורד מישור משופע
מחוספס במהירות 6m/sec
ונעצר, לאחר שעבר 4m לאורך המישור.
מהו מקדם החיכוך? (0.49)

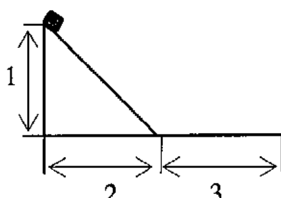


25. גוף שמסתו 0.5kg מתחיל להחליק במורד מישור
משופע מחוספס, ומגיע בתחתית המדרון
למהירות 4m/sec. לאחר העצירה מביאים
אותו לקצה התחתון של המישור. מהי עבודה הדרושה
כדי להחזיר את הגוף לנקודת המוצא?
(0.25)



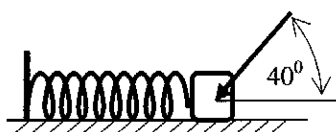
26. גוף שמסתו 2kg צמוד לקפיץ המכווץ ב –0.3m.
קבוע הקפיץ 2000 N/m .
לאחר שחרור הקפיץ עלה הגוף על פני המדרון
המחוספס לגובה 1m. זווית נטיית המדרון 45^0 .
מקדם החיכוך הקינטי 0.5.
א. מהי מהירות הגוף בנקודה B?
ב. כעבור כמה זמן מרגע שהגוף עזב את המדרון,
מהירות הגוף תהיה בזווית 30^0 מעל האופק?
(א. 7.78m/sec, ב. 0.24sec)

27. גוף קטן מחליק במורד מישור משופע כמתואר באיור.
מהו מקדם החיכוך הקינטי ? (0.20)



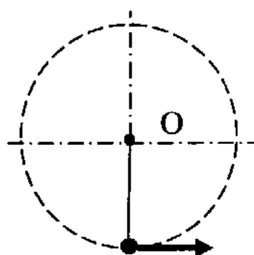
28. גוף מתחיל לעלות לאורך מדרון במהירות 3m/sec. מקדם החיכוך הקינטי בינו לבין המדרון 0.2. זווית הנטייה 50^0.
א. מהו גובה הנקודה, שבה הגוף יעצור?
ב. כעבור כמה זמן יחזור הגוף לנקודת המוצא?
ג. מהי המהירות בה יחזור הגוף לנקודת המוצא?
(א. 0.39m , ב. 0.6sec, ג. 1.59 m/sec)

29. גוף שמסתו 0.5kg צמוד לקפיץ רפוי. קבוע הקפיץ הוא 100N/m.
על הגוף פועל כוח של F=30N הנטוי בזווית 40^0 מעל האופק.
מקדם החיכוך הקינטי בין הגוף למדרון 0.2.
א. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?
ב. מהי המהירות המרבית של הגוף?
ג. מהי מהירות הגוף כאשר הוא עבר מרחק 0.1m?
(א. 0.36m , ב. 2.57m/sec, ג. 1.94m/sec ,)

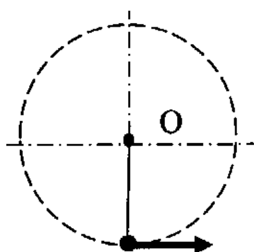


30. גוף שמסתו 4.5kg קשור לחוט שאורכו 2m. המתיחות המכסימלית של החוט היא 60N. מסיטים את הגוף ממצב שווי משקל ומשחררים. מהי זווית הסטייה המרבית שבה החוט לא יקרע? (34.87^0)

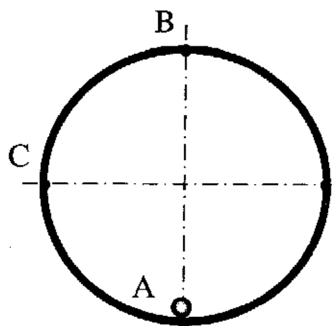
31. כדור קטן קשור לחוט חסר משקל הסתובב במישור אנכי. אורך החוט 0.6m. מהי המהירות המיני מלית של הכדור הדרושה לביצוע סיבוב שלם סביב הנקודה O ?
(2.43m/sec)



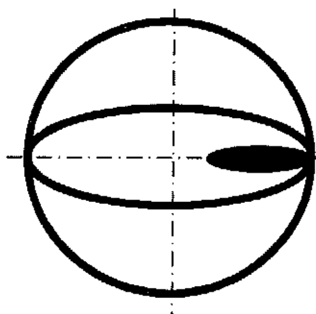
32. כדור קטן קשור למוט דק חסר משקל. המוט יכול להסתובב במישור האנכי . אורך המוט 0.8m. מהי המהירות המיני מלית של הכדור הדרושה לביצוע סיבוב שלם סביב הנקודה O ?
(3.96m/sec)



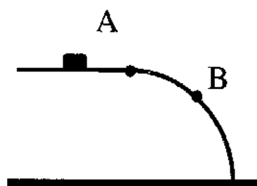
33. כדור קטן, שמסתו 0.4kg, נע בתוך מסילה אנכית מעגלית. רדיוס המסילה 5m .
א. מהי המהירות המינימאלית בנקודה A כך שהכדור יהיה מסוגל לעבור בנקודה B?
ב. מהו כוח התגובה הפועל על הכדור בנקודה C?
(א. 12.13m/sec , ב.. 3.92N)



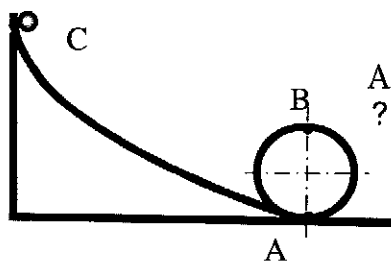
34. רוכב אופנוע נע בתוך כדור במסלול הנמצא במישור האופקי. רדיוס הכדור 4m. מקדם החיכוך בין צמיגי האופנוע והכדור 0.7. מהי המהירות המינימאלית בה חייב לנוע רוכב האופנוע?
(7.49m/sec)



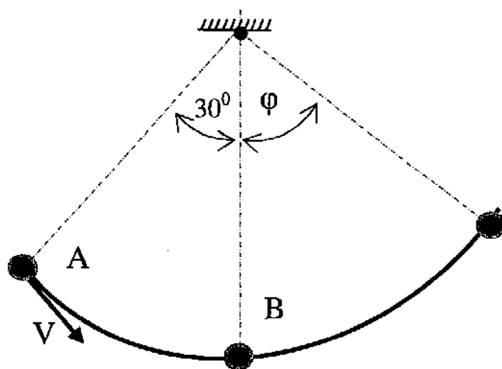
35. גוף הנע על פני מישור אופקי חלק במהירות 1.29m/sec מגיע למסילה מעגלית.
א. מהו הכוח בו לוחץ הגוף על המסילה לאחר שירד 0.39m?
ב. באיזה גובה יתנתק הגוף מהמסילה, אם רדיוס המסילה 3m?
(א. 3.05m/sec, ב. 0.94m)



36. כדור קטן, שמסתו 0.4kg נע בתוך מסילה אנכית מעגלית. רדיוס המסילה 3m .
א. מהי המהירות המינימאלית הנדרשת בנקודה A כדי שהכדור יהיה מסוגל לעבור את נקודה B ?
ב. מהו כוח התגובה הפועל על הכדור בנקודה A?
ג. מהו הגובה המינימאלי הדרוש להשלמת הסיבוב?
(א. 12.13m/sec , ב. 23.54N, ג. 7.5m)



37. גוף קטן, שמשקלו W = 10N, קשור לחוט שאורכו 5m. כאשר הגוף נמצא בנקודה A, מעניקים לו מהירות 2m/sec.



א. מהו הכוח מתיחות החוט ברגע בו נמצא הגוף בנקודה B ?

ב. מהי הזווית φ בה מהירות הגוף אפס?

ג. מהו כוח המתיחות בנקודה זו ומהי התאוצה?

(א. 4.14m/sec , ב. $\varphi=34.39^0$,
ג. T= 8.25N $a = 5.54m/sec^2$)

38. גוף שמסתו 0.5kg צמוד לקפיץ המכווץ בשיעור 0.2m. משחררים את הקפיץ והגוף נע על רצפה אופקית חלקה. קבוע הקפיץ 100N/m.



א. חשב את המהירות שבה ינוע הגוף על הרצפה האופקית לאחר שהקפיץ חזר לאורכו הרפוי.

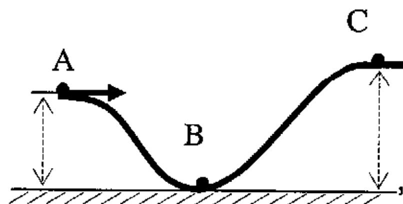
ב. חשב את הגובה של הנקודה שבה נעצר הגוף, אם המישור המשופע חלק.

ג. חשב את הגובה של הנקודה שבה נעצר את הגוף, אם מקדם חיכוך בין גוף לבין המישור המשופע 0.2.

ד. כמה זמן דרוש לגוף לרדת לתחתית המישור המחוספס ?

(א. 2.83m/sec , ב. 0.41m , ג. 0.36m , ד. 0.36sec)

39. המסילה המתוארת באיור חלקה. מהירות הכדור בנקודה A 8m/sec . גובה נקודה A מעל המשטח האופקי 3m. גובה הנקודה C מעל המשטח האופקי 4m.



א. מצא את מהירות הכדור בנקודה B .

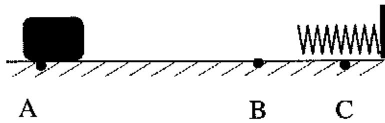
ב. מצא את מהירות הכדור בנקודה C.

ג. מה צריך להיות הגובה המינימאלי של הנקודה C כדי שהכדור לא יגיע לנקודה?

ד. מהי העבודה של כוח החיכוך בקטע AB, אם מהירות הכדור בנקודה B 2m/sec? מסת הכדור 0.5kg.

(א. 11.08m/sec , ב. 6.66m/sec, ג. 6.26m , ד. 29.72J -)

40. גוף שמסתו 1kg נע על רצפה אופקית חלקה במהירות V_A=2m/sec ופוגע בקפיץ רפוי. קבוע הקפיץ k=256N/m.



א. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?

ב. מהי מהירות הגוף ברגע בו התכווצות הקפיץ 0.1m?

ג. מהו מקדם החיכוך הקינטי, אם הרצפה מחוספסת ובנקודה B מהירות הגוף V_B=0.8m/sec ?

ד. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ, אם V_B=0.8m/sec ומקדם החיכוך הקינטי מתחת לקפיץ בקטע BC μ_k= 0.6?

(א. 0.125m, ב. V_A=1.2m/sec, ג. μ_k= 0.21, ד. 0.078m)



פרק 8: מתקף ותנע

8.1 תנע

בתחילת לימודי המכניקה הכרנו מספר גורמים פיסיקליים וחוקים, שבאמצעותם ניתן לפתור בעיות תנועה שוות מהירות, או שוות תאוצה. שימוש בחוק שימור האנרגיה המכאנית מאפשר לנו לטפל גם במקרים מסוימים של תנועה, שאינה שוות תאוצה, כאשר האנרגיה המכאנית הכללית נשמרת. בסעיף זה נכיר גורם פיסיקאלי נוסף בשם תנע, שמאפשר לנו לחשב מהירויות גופים גם במקרים, שבהם אסור להשתמש בחוק שימור האנרגיה המכאנית. תנע הוא גורם מלאכותי, ואינו שימושי כמו המהירות, הכוח ועוד. השימוש הנפוץ במושג תנע נובע מתכונות השימור שלו.
התנע מוגדר כמכפלת מסת הגוף במהירותו. התנע הוא וקטור.כיוון וקטור התנע זהה לכיוון וקטור מהירות הגוף. את התנע מסמנים באות **p**.
הביטוי המתמטי לחישוב התנע מופיע בנוסחה:



$$\mathbf{p = mv}$$

p – תנע הגוף (kg×m/sec)
m - מסת הגוף (kg)
v - מהירותו הגוף (m/sec)

כאשר מסת הגוף נמדדת בקילוגרם והמהירות במטרים לשנייה, יחידת התנע היא 1kg×m/sec.

8.2 מתקף

על פי החוק הראשון של ניוטון, גוף נע במהירות קבועה ובקו ישר, כאשר סכום הכוחות שפועלים עליו שווה לאפס. כאשר אין שינוי מהירות, או מסה, גם תנע הגוף נשמר. ניתן לשנות את מהירותו של גוף וכך לשנות גם את התנע שלו, באמצעות הפעלת כוח כלשהו. שינוי תנע הגוף שווה למכפלת הכוח בזמן פעולתו. הביטוי המתמטי הבא נכון אך ורק במקרים, בהם שינוי התנע נגרם על ידי כוח קבוע. במקרים אחרים F הוא הכוח הממוצע.

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

המשוואה האחרונה היא משוואה וקטורית. כיוון וקטור הכוח הפועל על גוף, זהה לכיוון הווקטור של השינוי המהירות, ואינו בכיוון המהירות, או בכיוון תנועת הגוף.
למכפלת הכוח במשך זמן פעולתו קוראים בשם מתקף. את המתקף מסמנים באות **J**.

הביטוי המתמטי לחישוב מתקף של כוח קבוע הוא:

J - מתקף (N·sec)

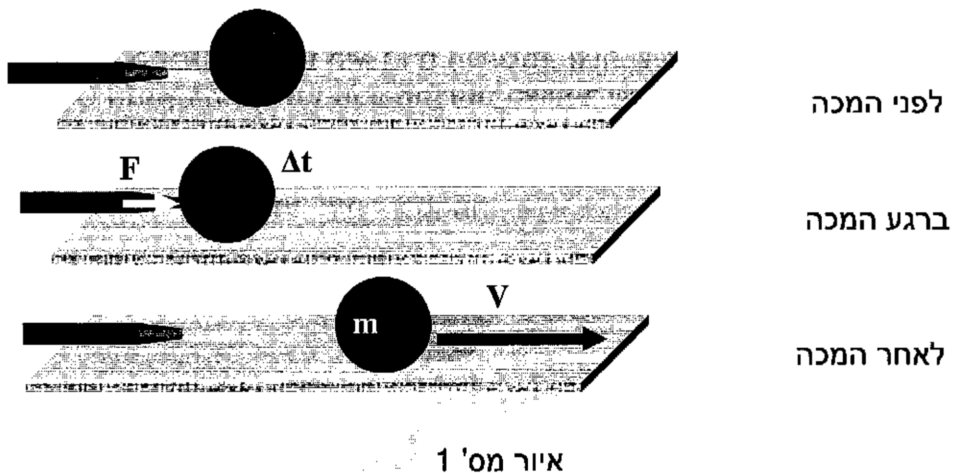
$$J = F\,\Delta t$$

F - כוח (N)

Δt - זמן פעולת הכוח (sec)

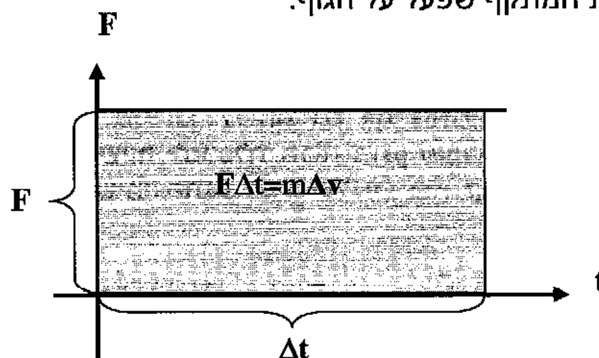
יחידת המתקף היא N×sec , או 1kg×m/sec.

בסדרת האיורים הבאים מופיע כדור, שרכש תנע מסוים בעקבות פגיעת מקל.



איור מס' 1

את המתקף שפעל על גוף, או שינוי התנע שלו, ניתן לייצג באמצעות גרף הכוח כפונקציה של הזמן. כאשר הכוח הפועל על גוף קבוע, שטח המלבן, שצלעותיו הן הכוח ופרק זמן, מייצג את המתקף שפעל על הגוף.



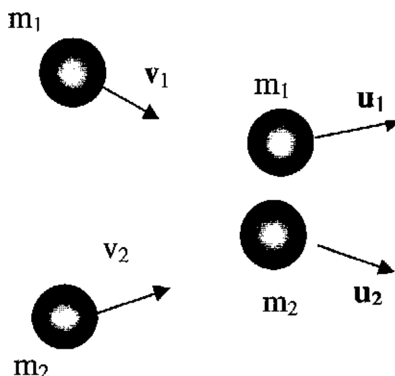
8.3 חוק שימור התנע

התנע הוא גודל פיסיקאלי חשוב בגלל תכונת השימור שלו. תנע של מערכת גופים סגורה נשמר. מערכת גופים סגורה היא קבוצת גופים נבחרים, שאינם מושפעים מגופים אחרים, שלא שייכים לקבוצה, או שכל ההשפעות החיצוניות מבטלות זו את זו.

אף גוף אחר לא יכול להצטרף אל המערכת ואף גוף לא יכול לעוזב את הקבוצה.
כוחות, הפועלים בין הגופים בתוך מערכת סגורה, נקראים כוחות פנימיים. כוחות, הפועלים מבחוץ על הגופים, הנמצאים בתוך מערכת סגורה, נקראים כוחות חיצוניים.
ניתן לנסח את חוק שימור התנע בצורה הבאה: סכום וקטורי התנע של הגופים במערכת סגורה הוא גודל קבוע.
הביטוי המתמטי לחוק שימור התנע הוא:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$$

כוחות, הפועלים בין גופים בתוך מערכת סגורה, לא יכולים לשנות את התנע הכללי, כי סכום הכוחות הפנימיים תמיד שווה לאפס, ועל פי הגדרה של מערכת סגורה, סכום כוחות חיצוניים גם הוא אפס. כוחות פנימיים גורמים לחלוקה חדשה של התנע הכללי בין הגופים במערכת הסגורה. כמות התנע שמאבד גוף אחד, או מספר גופים, שווה לכמות התנע שמקבל גוף אחר, או מספר גופים אחרים. שינוי התנע של מערכת גופים היא תוצאה אך ורק של השפעת כוח החיצוני. באיור מס' 2 מתואר מקרה של התנגשות בין שני הגופים.



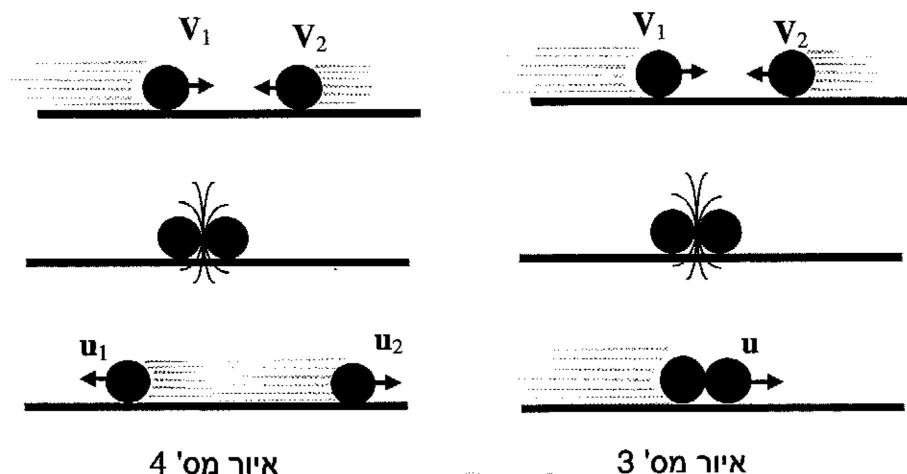
m_1 ו- m_2 - מסות גופים
v_1 ו- v_2 - מהירויות הגופים לפני ההתנגשות
u_1 ו- u_2 - מהירויות הגופים אחרי ההתנגשות

איור מס' 2

אנו מבחינים בין שני סוגים עיקריים של התנגשות:

א. התנגשות פלסטית (איור מס' 3) - לאחר ההתנגשות הגופים נעים ביחד והמהירויות שלהם שוות $\mathbf{u}_1 = \mathbf{u}_2$. האנרגיה הקינטית של גופים לאחר התנגשות פלסטית קטנה משהייתה לפני ההתנגשות.

ב. התנגשות אלסטית לחלוטין (איור מס' 4) – לאחר ההתנגשות הגופים נפרדים והאנרגיה הקינטית של הגופים נשמרת.



איור מס' 4 איור מס' 3

בזמן התנגשות אלסטית לחלוטין שני הגופים מתקיימים בו זמנית שני חוקים: חוק שימור התנע (משוואה מס' 1) וחוק שימור האנרגיה המכאנית (משוואה מס' 2).

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{u}_1 + m_2\mathbf{u}_2 \qquad (1)$$

$$\tfrac{1}{2}m_1\mathbf{v}_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2\mathbf{v}_2^2 = \tfrac{1}{2}m_1\mathbf{u}_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2\mathbf{u}_2^2 \qquad (2)$$

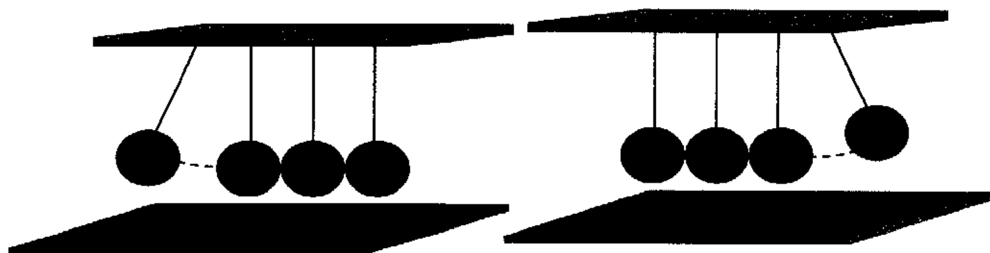
מתוך שתי המשוואות ניתן לפתח משוואה נוחה יותר לשימושה (3)

$$\mathbf{v}_1 + \mathbf{u}_1 = \mathbf{v}_2 + \mathbf{u}_2 \qquad (3)$$

שימוש בשתי המשוואות הווקטוריות מאפשר לנו לחשב את מהירויות שני גופים לאחר התנגשות אלסטית לחלוטין בין הגופים.

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{u}_1 + m_2\mathbf{u}_2 \qquad (1)$$
$$\mathbf{v}_1 + \mathbf{u}_1 = \mathbf{v}_2 + \mathbf{u}_2 \qquad (3)$$

מקרה נוסף של התנגשות אלסטית לחלוטין בין מספר כדורים עם מסות שוות מתואר באיור מס' 5.

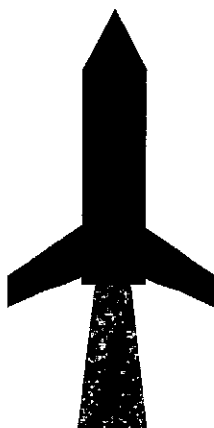


איור מס' 5

במקרה של התנגשות אלסטית לחלוטין בין שני גופים, כאשר מסת הגוף האחד גדולה בהרבה ממסת הגוף שני, מתרחש רק שינוי בכיוון התנע של הגוף שמסתו קטנה. למשל, אחרי התנגשות אלסטית לחלוטין בין כדור וקיר, הכדור יחזור ממנו באותה מהירות, אבל בכיוון אחר.

חוק שימור התנע מאפשר לחשב מהירויות של חלקי גוף לאחר התפוצצות, מהירויות רובה, או תותח אחרי הירייה ומהירות תנועת טילים.
ישנם מספר מקרים, שבהם אנו יכולים להשתמש בחוק שימור התנע, אף על פי שמערכת הגופים אינה סגורה. נדון בכמה מהם. במקרה הראשון אנו מנצלים את האופי הווקטורי של חוק שימור התנע. במקרה זה רכיב התנע הכללי בכיוון שבו סכום כוחות חיצוניים שווה לאפס הוא גודל קבוע. מקרה אחר הוא התפוצצות פגז, או רימון הנמצאים בתנועה. הכוח הפנימי, הגורם להתפוצצות גדול בהרבה מכוח הכובד, שהוא כוח חיצוני. כתוצאה מכך אנו יכולים להזניח את השפעת כוח הכובד בשינוי התנע.

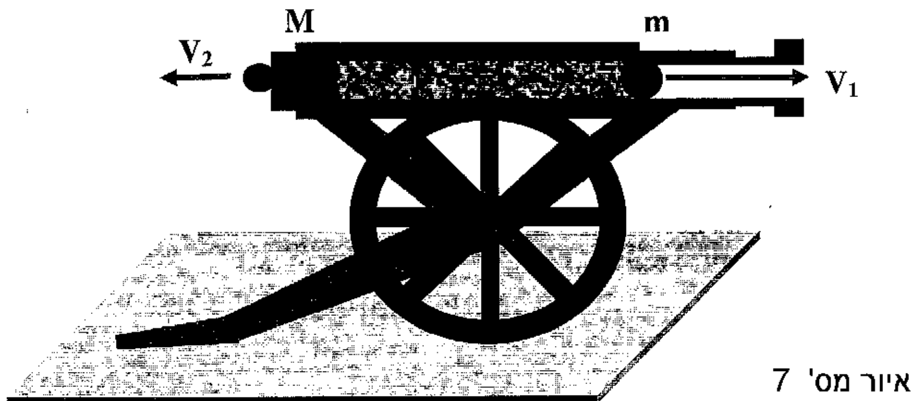
חוק שימור התנע מסביר את תופעת הרתע. גזים של אבק השריפה, הנוצרים בזמן הירי, גורמים לתנועת פגז, שמסתו m, קדימה במהירות V_1, ועקב כך התותח, שמסתו M, מתחיל לנוע בכיוון הנגדי במהירות קטנה יותר V_2.
על פי חוק שימור התנע לפני הירי, כאשר התותח והפגז היו במנוחה התנע שלהם הוא אפס.



$$0 = M \times V_2 + m \times V_1$$ או

$$\frac{m}{M} = -\frac{V_2}{V_1}$$

איור מס' 6



איור מס' 7

מקרה חשוב אחר הוא תנועה טילים. גופים שונים על פני כדור הארץ נעים עקב דחיפה של התמיכה שלהם. לתנועה של טיל אין צורך בתמיכה חיצונית, גזים היוצאים מהטיל בכיוון אחד גורמים לתנועת הטיל בכיוון האחר.



איור מס' 8

באיור מס' 8 מתוארת פגיעה אלסטית של כדור בקיר. על פי חוק שימור התנע, מהירות הפגיעה שווה למהירות בה הכדור מוחזר. בנוסף הזווית בין האנך לקיר וכיוון מהירות פגיעת הכדור שווה לזווית בין האנך לקיר לבין כיוון מהירות החזרה ממנו.

8.4 בעיות

1. כדור שמסתו 2kg נע במהירות 4.5m/sec . מהו התנע שלו? (9kg·m/sec)

2. תנע גוף שמסתו 400g הוא 30kg×m/sec. מהי מהירותו? (75m/sec)

3. מהירות עגלה שמסתה 200kg השתנתה מ- 3m/sec ל- 7m/sec.
מהו שינוי התנע? (800kg·m/sec)

4. כוח קבוע של 20N פעל על גוף במשך 10sec. מהו המתקף שפעל על הגוף?
(200N·sec)

5. מתקף של כוח קבוע של 60N שווה 15N·sec כמה זמן פעל הכוח? (0.25sec)

6. מתקף של כוח קבוע מסוים שווה ל - 150N·sec. הכוח פועל על גוף במשך 5sec.
מהו הכוח? (30N)

7. כוח של 4N פעל במשך 5sec על גוף שמסתו 2kg.
א. מהו שינוי התנע?
ב. מהו המתקף?
ג. מהו שינוי המהירות?
(א. 20kg·m/sec. ב. 20N·sec. ג. 10m/sec)

8. כדור אלסטי, שנע שמאלה במהירות 4m/sec, פוגע בקיר ומוחזר ממנו ימינה באותה מהירות. מסת הכדור 2kg.
א. מהו שינוי התנע?
ב. מהו המתקף?
ג. מהו הכוח הממוצע שפעל על הגוף, אם הכדור היה במגע עם קיר במשך 0.01sec?
(א. 16kg·m/sec. ב. 16N·sec. ג. 1600N)

9. גוף, שמסתו m_1=4kg, נע על משטח אופקי חלק במהירות v_1= 5m/sec. החל מרגע מסוים t=0 , החל לפעול על הגוף כוח קבוע, שגודלו F = 30N בכיוון תנועת הגוף. הכוח הפסיק לפעול כעבור 10sec.
א. מהי תאוצת הגוף?
ב. מהם המתקף ושינוי תנע הגוף לאחר 10sec של תנועת הגוף?
ג. מהו תנע הגוף ברגע t = 10sec?
(א. 7.5m/sec^2 ב. 300N·sec. 300kg·m/sec. ג. 300kg·m/sec)

10. קליע רובה, שמסתו 10g, נע במהירות 600m/sec ופגע בבול עץ שהיה במנוחה. מסת הבול 990g. לאחר הפגיעה הקליע ובול העץ נעים יחד.
א. מהי המהירות של שני הגופים לאחר הפגיעה?
ב. מהו הכוח הממוצע שבלם את הקליע אם הקליע נבלם בתוך הבול במשך 0.0003sec?
(א. 6m/sec. ב. 19800N)

11. קליע רובה, שמסתו 10g, נע במהירות 400m/sec, פוגע בבול עץ, שמסתו 1kg, ויוצא ממנו במהירות של 100m/sec.

א. מהי מהירות הבול אחרי הפגיעה?

ב. מהו שינוי התנע של הקליע?

(א. 3m/sec. ב. 3kg·m/sec)

12. רימון התפוצץ בנקודה הגבוהה ביותר של מסלול תנועתו. לפני ההתפוצצות הרימון נע במהירות של 15m/sec. לאחר ההתפוצצות חלק הרימון שמסתו 0.1kg ממשיך לנוע באותו כיוון במהירות של 54m/sec . מהי המהירות של החלק השני שמסתו 0.3kg ? (2m/sec)

13. לאחר ירייה של פגז מתותח, שמסתו 600kg, התותח מתחיל לנוע במהירות של 2m/sec. מסת הפגז שנורה היא 5kg .

א. באיזו מהירות נפלט הפגז מהתותח?

ב. מהו מרחק הרתיעה של התותח, אם מקדם החיכוך הוא 0.8?

(א. 240m/sec. ב. 0.25m)

14. ילד, שמסתו 40kg, קופץ מסירה, שמסתה, 160kg, בכיוון תנועת הסירה. מהירות הקפיצה 5m/sec (ביחס לקרקע). לפני הקפיצה הסירה והילד נעו במהירות של 2m/sec. מהי מהירות הסירה לאחר הקפיצה? (1.25m/sec)

15. עגלה, שמסתה 200kg, נעה במהירות 6m/sec ומתנגשת בעגלה, שמסתה 300kg ונמצאת במנוחה. לאחר ההתנגשות שתי העגלות נדבקו ועברו מרחק של 5m ונעצרו.

א. מהי מהירות שתי העגלות מיד לאחר ההתנגשות?

ב. מהו גודלו של כוח החיכוך?

ג. מהו מקדם החיכוך?

(א. 2.4m/sec. ב. 288N. ג. μ=0.059)

16. עגלה,שמסתה 100kg, נעה שמאלה במהירות 4m/sec ומתנגשת בעגלה, שמסתה 400kg, הנעה לקראתה במהירות 5m/sec . העגלות נדבקות.

א. מהי מהירות (גודל וכיוון) שתי העגלות מיד לאחר ההתנגשות?

ב. מהו אובדן האנרגיה המכאנית בהתנגדות?

(א. ימינה 3.2m/sec. ב. 3240J)

17. טיל, שמסתו 1kg, מכיל 3kg של חומר שריפה. בהנחה שכל החומר נשרף בבת אחת ומהירות פליטת הגזים היא 200m/sec, חשב את הגובה המרבי שאליו יכול הטיל להגיע? (18.35km)

18. גוף, שמסתו $m_1= 2kg$, נע על משטח אופקי חלק במהירות $v_1= 10m/sec$, ומתנגש התנגשות מצח (חד- ממדית) עם גוף נח בעל מסה $m_2=3kg$. לאחר ההתנגשות ממשיך הגוף, שמסתו 2kg, לנוע בכיוון התנועה המקורי במהירות $u_1= 7m/sec$.

א. מהי מהירות הגוף שמסתו $m_2=3kg$ לאחר ההתנגשות?

ב. האם ההתנגשות היא אלסטית לחלוטין? פלסטית? נמק.

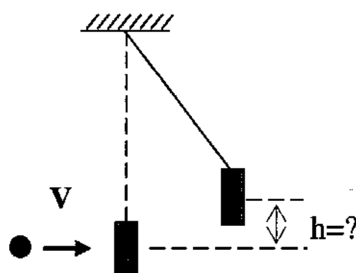
(א. 2m/sec. ב. לא)

19. גוף, שמסתו $m_1= 2kg$, נע על משטח אופקי חלק במהירות $v_1= 10m/sec$, ומתנגש התנגשות אלסטית לחלוטין עם גוף נח בעל מסה $m_2=3kg$.

מהן מהירויות הגופים לאחר ההתנגשות? ($u_1= -2m/sec$, $u_2= 8m/sec$)

20. גוף, שמסתו $m_1= 4kg$, נע על משטח אופקי חלק במהירות $v_1= 12m/sec$, ומתנגש התנגשות אלסטית לחלוטין עם גוף שני, הנע לקראתו במהירות $v_2= 8m/sec$, שמסתו $m_2=3kg$. מהן מהירויות הגופים לאחר ההתנגשות?

($u_1= -5.14m/sec$, $u_2= 14.86m/sec$)



21. קליע רובה, שמסתו 10g נע במהירות 400m/sec, פוגע בלוח עץ התלוי על חוט, שאורכו 2m, ויוצא מצדו השני במהירות של 100m/sec.

מסת הלוח 1kg.

א. מהי מהירות הבול לאחר הפגיעה?

ב. לאיזה גובה מרבי יגיע הלוח?

(א. 3m/sec. ב. 0.46m)

22. גוף, שמסתו $M= 0.49kg$, נמצא על פני מישור אופקי חלק. על הגוף נורה קליע, שמסתו $m = 0.01kg$, במהירות (אופקית) $V= 400m/sec$, ונתקע בו. הגוף נמצא בסמוך למדרון משופע.

א. מהי מהירותם המשותפת של הגוף והקליע מיד לאחר הפגיעה?

ב. חשב את הגובה המרבי אליו יעלה הגוף עם הקליע בתוכו. (המדרון חלק)



(א. $8m/sec^2$. ב. 3.26m)

23. שני גופים, שמסותיהם $m_1 = 0.8kg$ ו - $m_2 = 0.2kg$, נמצאים במנוחה על פני מישור אופקי חלק. בין הגופים נמצא קפיץ מכווץ, ושני הגופים קשורים בחוט המונע את התפשטות הקפיץ. כאשר חותכים את החוט, מהירות הגוף, שמסתו $m_1 = 0.8kg$, ברגע שחרורו מהקפיץ היא 0.5m/sec. מסת הקפיץ זניחה. קבוע הקפיץ 800N/m.

א. חשב את מהירותה של המסה m_2, ברגע שחרורה מהקפיץ.

ב. חשב את כמות האנרגיה שהייתה אצורה בקפיץ המכווץ.

ג. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?



(א. $2m/sec^2$

ב. 0.5J

ג. 0.035m)

24. גוף, שמסתו 4kg, נע במהירות של 10m/sec ופוגע בגוף שני המחובר לקפיץ, שקבוע 200N/m. מסת הגוף השני 1kg. לאחר ההתנגשות שני הגופים נעים יחד.

א. מהי מהירות שני הגופים מיד לאחר ההתנגשות?

ב. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?

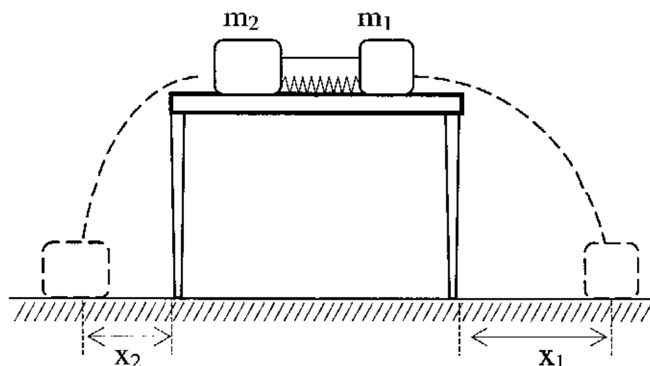
(א. 8m/sec. ב. 0.632m)

25. שני גופים, $m_1 = 0.7kg$, ו – $m_2 = 0.3kg$, וקפיץ מכווץ שביניהם מונחים על שולחן אופקי חלק, שגובהו 0.8m. מסת הקפיץ זניחה. שני הגופים קשורים בחוט המונע את התפשטות הקפיץ. כאשר חותכים את החוט, שתי המסות מחליקות ונופלות מקצוות השולחן. המסה m_1 נופלת מהקצה הימני של השולחן ופוגעת ברצפה במרחק $x_1 = 1.2m$ מהרגל הימנית של השולחן.

א. כעבור כמה זמן מתחילת הנפילה פגע ברצפה הגוף שמסתו $m_1 = 0.7kg$?

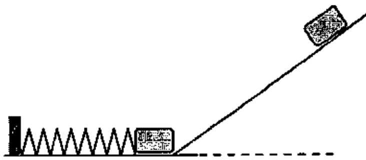
ב. מהי מהירות הגוף שמסתו $m_1 = 0.7kg$ לפני הנפילה?

ג. מהו המרחק x_2 מנקודת הפגיעה לרגל השמאלית של השולחן?



(א. 0.4sec, ב. 11.2m/sec , ג.4.48m)

26. גוף, שמסתו 1kg, מתחיל להחליק על מישור משופע שגובהו 2m. בתחתית המישור המשופע הוא פוגע בגוף זהה המחובר לקפיץ רפוי, שקבוע 100N/m ונדבק עליו.

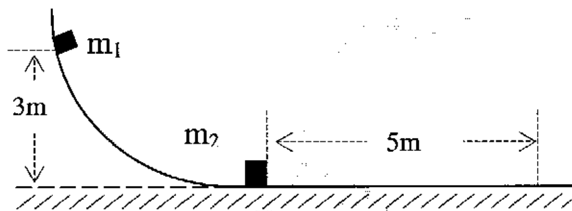


א. מהי מהירות שני הגופים מיד לאחר ההתנגשות?
ב. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?
ג. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ, אם מקדם חיכוך של מישור אופקי 0.6?

(א. 3.13m/sec ב. 0.44m ג. 0.43m)

27. גוף, שמסתו m_1=2kg, מחליק מגובה של 3m על פני משטח חלק עקום. בתחתית המשטח העקום הוא מתנגש בגוף שני שמסתו m_2=10kg. לאחר ההתנגשות הגוף שמסתו m_2, עבר מרחק של 5m במשך 4sec. החיכוך בין הגופים לבין המשטח זניח.

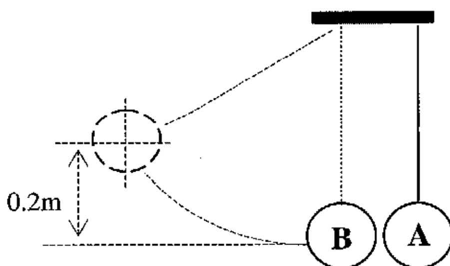
א. מהי מהירותו של הגוף שמסתו m_2 לאחר ההתנגשות?
ב. מהי מהירותו של הגוף שמסתו m_1 לפני ההתנגשות?
ג. מהי מהירותו של הגוף שמסתו m_1 לאחר ההתנגשות?



(א. 1.25m/sec ב. 7.67m/sec ג. שמאלה 1.42m/sec)

28. כדור A תלוי במנוחה על חוט אנכי. כדור B, הקשור לקצהו של חוט אופקי, משוחרר ממנוחה מגובה 0.2m (ראה תרשים). תוך כדי תנועתו מתנגש כדור B התנגשות פלסטית בכדור A.

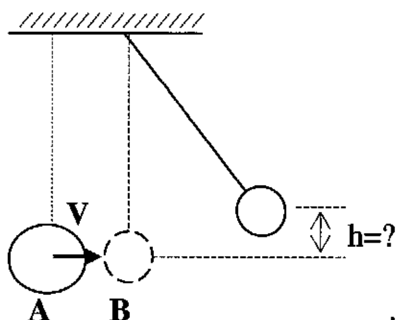
מסת כל אחד מהכדורים היא 0.1kg.



א. מהו גודל המהירות של הכדור B זמן קצר לפני ההתנגשות?
ב. מהי מהירותם המשותפת של שני הכדורים זמן קצר לאחר ההתנגשות?
ג. מהי הכמות האנרגיה המכאנית ש"אבדה" בהתנגשות?

(א. 1.98m/sec ב. 0.99m/sec
ג. -0.098J1)

29. שני כדורים A ו - B תלויים זה ליד זה על חוטים ארוכים דקים. המסה m_A של הכדור A גדלה פי 4 מהמסה m_B של כדור B.מעניקים לכדור A מהירות של 4m/sec. הכדור A מתנגש התנגשות אלסטית לחלוטין בכדור B.



א. מהי מהירות שני הכדורים מיד לפני ההתנגשות?

ב. חשב את הגובה המרבי אליו יעלה כדור B.

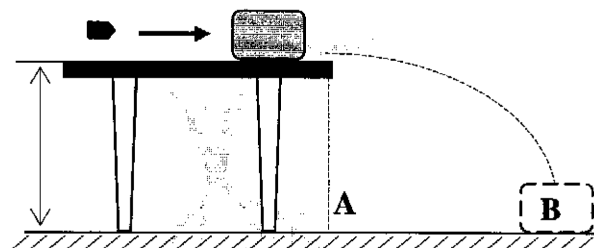
(א. u_1= 2.4m/sec u_2=6.4m/sec , ב. 7.67m/sec)

30. בול עץ, שמסתו 0.975kg נמצא על פני שולחן אופקי חלק, שגובהו 0.8m . קליע, שמסתו 0.025kg , נע אופקית במהירות V=1000 m/sec ופגע בבול וננעץ בו.

א. מהי המהירות המשותפת (של הבול והקליע) מיד לאחר ההתנגשות?

ב. מהו המרחק האופקי בין הנקודה A לבין נקודת הפגיעה B של הבול בקרקע?

ג. מהי המהירות (גודל בלבד) בה יפגע הבול (והקליע בתוכו) בקרקע?



(א. 25m/sec ב. 10.10m ג. 10.85m/sec)

31. כדור A, שמסתו m_1=5kg, נע על משטח אופקי חלק במהירות V_1 = 3m/sec ופוגע בכדור שני B נח. ההתנגשות אלסטית לחלוטין. לאחר ההתנגשות שני הכדורים נעים באותו כיוון, כשמהירותו של A היא 2/3 ממהירותו לפני ההתנגשות.

א. מהי מסת הכדור B?

ב. מהי מהירות הכדור B לאחר ההתנגשות?

(א. m_2=1kg ב. 5m/sec)

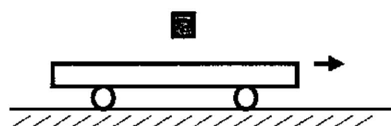
32. קליע, שמסתו m=0.01kg, נורה אופקית וחודר במהירות V_0=800m/sec למרכז לוחית שמסתה M = 2kg, התלויה על חבל המחובר לתקרה. כתוצאה מפגיעת הקליע מתחילה הלוחית לנוע ועולה לגובה 0.1m .

א. חשב את מהירות הלוחית, לאחר שהקליע יצא ממנה.

ב. חשב את המהירות שבה הקליע יצא מהלוחית.

(א. 1.4m/sec ב. 520m/sec)

33. גוף, שמסתו $m = 2kg$, נופל אנכית מגובה נמוך אל עגלה. מסת העגלה $M = 8kg$, והיא נעה במהירות $5m/sec$.



א. מהי מהירות הגופים לאחר הנפילה?

ב. מהו אובדן האנרגיה המכאנית?

(א. $4m/sec$ ב. $-20J$)

34. קליע שמסתו $m=0.05kg$, פגע במהירות $V_0=200m/sec$ בגוף שמסתו $M = 2kg$. כתוצאה מפגיעת הקליע הגוף עם הקליע בתוכו נאצרו. בהי זווית הפגיע את הקליע בגוף? (36.87^0)

35. גוף, שמסתו $M= 0.49kg$, נמצא על פני מישור אופקי חלק. על הגוף נורה קליע, שמסתו $m = 0.01kg$ במהירות $V= 400m/sec$, ונתקע בו. וקטור מהירות של תנועת הקליע יוצר זווית 30^0 עם הכיוון האופקי.

מהי מהירותם המשותפת של הגוף והקליע מיד לאחר הפגיעה? ($6.93m/sec$)

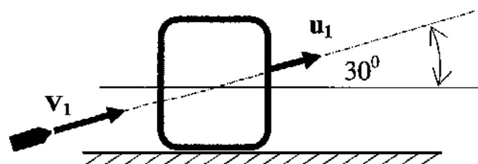


36. גוף שמסתו $M= 1kg$ מונח על פני מישור אופקי חלק. על הגוף נורה קליע, שמסתו $m = 0.01kg$ הנע במהירות $V_2= 600m/sec$ ויוצא מימנו בצד השני במהירות $u_2= 200m/sec$. ווקטור מהירות תנועה של הקליע יוצר זווית 30^0 עם המישור.

א. לאיזה גובה מרבי מגיע הגוף?

ב. מהו המרחק שעבר הגוף בכיוון האופקי?

(א. $y=0.41m$, ב. $x=1.41m$)



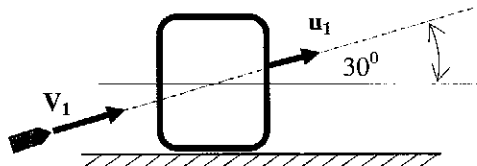
37. גוף שמסתו $M= 1kg$ מונח על פני מישור אופקי חלק. על הגוף נורה קליע, שמסתו $m = 0.01kg$ הנע במהירות $V_2= 600m/sec$ ויוצא מימנו בצד השני כתוצאה מכך הגוף פגע מישור במרחק $x_2=3.07m$ מנקודת בה פגע בו את הקליע. ווקטור מהירות תנועה של הקליע יוצר זווית 30^0 עם המישור.

א. מהי מהירות הגוף לאחר שהקליע יצא מימנו?

ב. מהו המרחק בין נקודות הפגיע הקליע והגוף במישור?

ג. הו מקדם החיכוך אם לאחר פרק זמן מסוים הקליע והגוף ימצאו באותו המקום?

($\mu_k =0.232$.ג, $\Delta x=5.74m$.ב , $u_2= 5.9m/sec$.א)



38. שני גופים $m_1 = 0.7kg$, ו - $m_2 = 0.3kg$ מתחילים לנוע על פני חצי ממשטח כדורי חלק ומתנגשים בהתנגשות פלסטית (ראה תרשים). רדיוס הכדור שהמשטח מהווה חצי ממנו $1.8m$. לאיזה גובה מרבי יגיעו הגופים לאחר ההתנגשות?
(0.29m)



פרק 9 - תנודות

9.1 מבוא

מקרה חשוב של תנועה מכנית היא תנועת גוף החוזרת על עצמה. תנועה מהסוג הזה נקראת תנועה מחזורית. אחת הדוגמאות לתנועה מחזורית היא התנועה המעגלית. בתנועה זו גוף הנע חוזר לנקודת המוצא וחולף בה כל פעם באותו הכיוון. במקרה אחר של תנועה מחזורית, **תנודות**, הגוף הנע חוזר לנקודת המוצא בכל פעם בכיוון ההפוך לכיוון הקודם. זו תנועה שבה הגוף נע **הלוך ושוב**. התנודות נפוצות מאוד בטבע: תנועות עלי העצים, תנועת הגלים על פני המים, פעימות הלב ועוד.

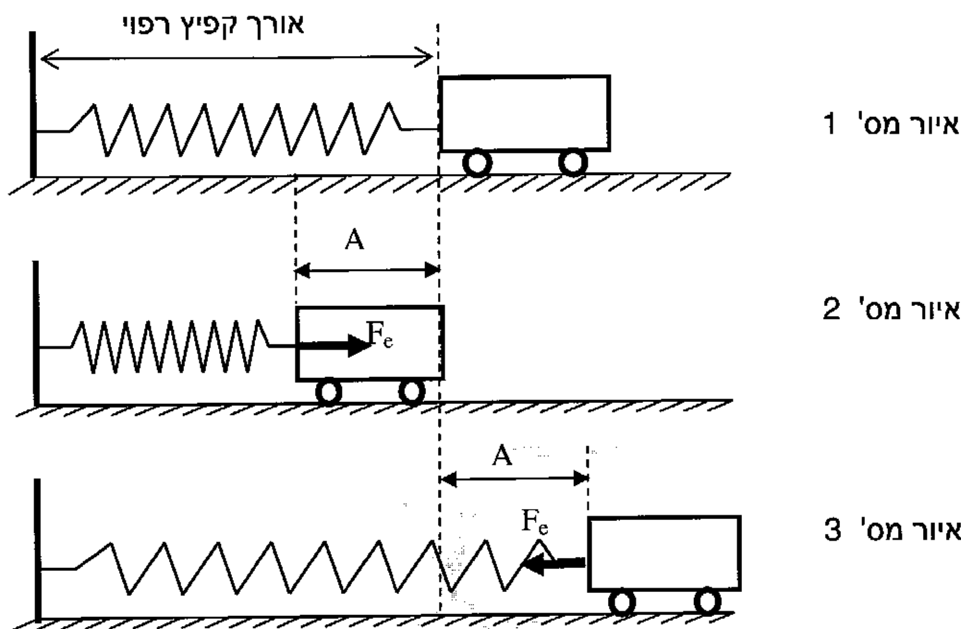
9.2 תנועת גוף הקשור לקפיץ

דוגמה אופיינית לתנודות היא תנועת גוף הקשור לקפיץ. נחבר עגלה לקצה אחד של קפיץ אופקי, שהקצה השני שלו מחובר לקיר. נניח, כי כוח החיכוך, הפועל על העגלה, ניתן להזנחה, וסכום כוחות המשיכה והנורמל הוא אפס. כאשר הקפיץ רפוי העגלה נמצאת במצב שיווי- משקל (איור מס' 1).

נסיט את העגלה שמאלה ונשחרר אותה (איור מס' 2). הקפיץ שמכווץ עקב דחיפת העגלה, מנסה להתפשט ודוחף את העגלה ימינה בכוח אלסטי F_e (את גודלו של הכוח האלסטי הנוצר בקפיץ ניתן לחשב על פי חוק הוק). בנקודה, שבה העגלה נעצרה, הכוח האלסטי גדול ביותר וכיוונו ימינה. כלומר, הכוח האלסטי מכוון כלפי מצב שיווי-המשקל. בעת השחרור תאוצת העגלה גדולה ביותר. כאשר העגלה מגיעה לנקודת שיווי- המשקל הכוח האלסטי מתאפס, כי הקפיץ רפוי, וברגע זה תאוצת העגלה גם היא מתאפסת, ומהירותה מגיעה לערך המרבי. העגלה עוברת את נקודת שיווי-המשקל וממשיכה לנוע, כי במצב שיווי-המשקל יש לה מהירות ימינה. תנועת העגלה ימינה גורמת להתארכות של הקפיץ. עקב כך שוב נוצר כוח אלסטי בקפיץ אבל עתה כיוונו שמאלה. בהתאם לכוח האלסטי תאוצת העגלה הולכת וגדלה. על פי חוק שימור האנרגיה המכנית, העגלה נעצרת בנקודה הנמצאת במרחק זהה למרחק ההסטה ההתחלתית. בנקודה זו הכוח האלסטי המביא את מהירות העגלה לאפס, מקבל ערך מרבי וכיוונו כלפי מצב שיווי- המשקל (איור מס' 3). לאחר העצירה הרגעית הכוח האלסטי גורם לעגלה לנוע בכיוון לנקודת שיווי המשקל והתנועה חוזרת על עצמה, אך כעת שמאלה.

חשוב לציין כי כל הזמן הכוח האלסטי הנוצר בקפיץ מתפקד ככוח מחזיר. כיוון כוח מחזיר הוא תמיד כלפי מצב שיווי-המשקל. כוח אלסטי הפועל על מערכת גופים (העגלה והקפיץ) הוא כוח פנימי. **תנודות** מהסוג הזה, שבו על גופים פועלים כוחות פנימיים, המכוונים כל זמן כלפי מצב שיווי-המשקל, נקראות **תנודות חופשיות.** לקיומן תנודות חופשיות במערכת דרושה פעולה של כוח מחזיר.

כעת נפעיל על העגלה כוח נוסף לכוח האלסטי, למשל, כוח השרירים של היד, תחילה בכיוון אחד ואחר כך בכיוון הנגדי מספר פעמים. כוח היד הוא כוח חיצוני המאלץ את העגלה לבצע תנודות. תנודות הגוף הנגרמות על ידי כוח חיצוני נקראות **תנודות מאולצות**. תנודות מאולצות הן, למשל, תנודות בוכנות בתוך מנוע המכונית, או תנודות המחט של מכונת התפירה.



מרחק סטיית העגלה מנקודת שיווי המשקל הוא ההעתק, ומסמנים אותו באות – x. ההעתק מכסימלי x_{max} נקרא משרעת (או אמפליטודה בלועזית) ומסמנים אותה ב – A. x_{max} = A. האמפליטודה של התנועה נמדדת במטרים. עגלה, המתחילה לנוע מקצה אחד וחוזרת לנקודת המוצא, עוברת מרחק S הגדול פי 4 מהאמפליטודה.

9.3 זמן מחזור ותדירות

הזמן, הדרוש לעגלה להתחיל לנוע מקצה אחד ולחזור לנקודת המוצא, נקרא זמן המחזור. את זמן המחזור מסמנים באות **T**. כל התנועה, מהקצה לקצה ובחזרה, היא תנודה אחת שלמה. נסמן את מספר התנודות ב – N, ואת הזמן הדרוש לביצוע התנודות ב – t . על פי הגדרה זמן המחזור מתקיים:

T – זמן מחזור (sec)
t - משך זמן התנועה (sec)
N - מספר התנודות

$$T = \frac{t}{N}$$

במערכת יחידות בינלאומית זמן המחזור נמדד בשניות. זמן תנועת העגלה מקצה אחד לנקודת שיווי- המשקל שווה לרבע זמן המחזור, והזמן הדרוש לעגלה לנוע מקצה אחד לקצה השני שווה למחצית זמן המחזור.

תדירות היא מספר התנודות השלמות ביחידת זמן וסימנה - f. על פי ההגדרה של התדירות, מקבלים נוסחה לחישוב התדירות:

f – תדירות (Hz)
t - משך זמן התנועה (sec)
N - מספר התנודות

$$f = \frac{N}{t}$$

במערכת יחידות בינלאומית יחידת התדירות היא הרץ אחד. 1הרץ = 1Hz. 1הרץ היא תדירות שבה גוף עושה תנודה אחת בשנייה אחת.על פי הגדרת התדירות, התדירות הפכית לזמן המחזור.

$$f = \frac{1}{T}$$

9.4 תנועה הרמונית פשוטה. מטוטלת קפיצית

מערכת של גוף, הקשור לקפיץ ומבצע תנודות, נקראת מטוטלת קפיצית. זמן המחזור של מטוטלת קפיצית תלוי אך ורק במסת הגוף ובקבוע הקפיץ. בדרך כלל, אם מסת הקפיץ קטנה בהרבה ממסת הגוף, ניתן להזניח את מסת הקפיץ. זמן המחזור של מטוטלת קפיצית לא מושפע מהאמפליטודה. ניקח עגלה שמסתה m וקשורה לקפיץ שהקבוע שלו הוא - k . נעביר את ציר ה - x בכיוון האופקי, ונכוון אותו ימינה. נבחר את ראשית הציר בנקודת שיווי-המשקל. (איור מס' 4). נזיז את העגלה שמאלה, ונרשום את החוק השני של ניוטון.

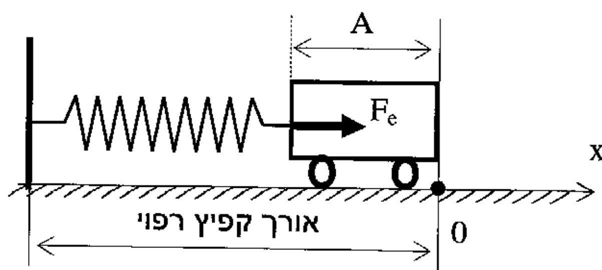
$$F_x = ma_x$$

על פי חוק הוק

$$F_{el} = -kx$$

לאחר הצבה נקבל משוואה, הנקראת משוואת תנועה הרמונית פשוטה:

$$ma_x + kx = 0$$



איור מס' 4

פתרון המשוואה מתבצע בעזרת טכניקות של חשבון דיפרנציאלי, והפתרון הסופי להעתק תנועת העגלה כפונקציה של הזמן נתון בנוסחה:

$x(t)$ – העתק ברגע מסוים (t)
f - תדירות
A - אמפליטודה
φ_0 - פאזה התחלתי

$$\mathbf{x(t)=ACos\ (2\pi ft + \varphi_0)}$$

הביטוי $\varphi = 2\pi ft + \varphi_0$ נקרא מופע, או פאזה, וסימנו φ. ביחד עם האמפליטודה פאזת התנודות קובעת את מצבו של הגורם הפיסיקלי ברגע המסוים. ברגע ההתחלתי כאשר $t_0=0$ הפאזה התחלתית הוא -

$$\varphi = \varphi_0$$

כאשר התנודות מתחילות ממצב שיווי משקל המשוואה המתארת את העתק תנועת העגלה כפונקציה של הזמן היא:

$$x(t)= ASin\ 2\pi ft$$

לחישוב מהירות העגלה נחשב את הנגזרת לפי הזמן של משוואת ההעתק, ונקבל:

$$x'(t)=-2\pi fASin(\ 2\pi ft + \varphi_0\ )$$ או $$v\ (t)=-2\pi f\ ASin(2\pi ft + \varphi_0)$$

או $$v_{max} = \pm 2\pi fA$$ $$v\ (t)=-v_{max}\ Sin(2\pi ft + \varphi_0\ )$$

בדרך דומה ניתן לחשב גם את תלות תאוצת העגלה כנגזרת השנייה של ההעתק לפי הזמן:

$$x''(t)= a(t)= -4\ \pi^2 f^2 ACos\ (2\pi ft + \varphi_0) = -\ a_{max}\ Cos(2\pi ft + \varphi_0\ )$$

$$a_{max} = \pm 4\pi^2 f^2 A$$

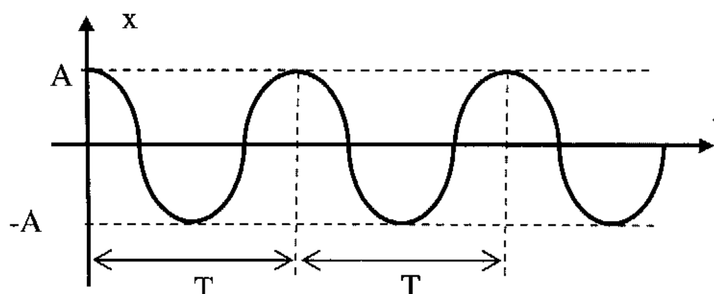
הקשר בין העתק הגוף לבין מהירותו בתנועה הרמונית פשוטה נתון על ידי הנוסחה:

f - תדירות
v - מהירות
A - אמפליטודה
x – העתק

$$v = \pm 2\pi\ f\ \sqrt{A^2 - x^2}$$

כאשר גורם פיסיקלי תלוי בזמן לפי הפונקציות הטריגונומטריות סינוס, או קוסינוס, אנו מכנים את השינויים בשם **תנועה הרמונית פשוטה**.

מהו התנאי בו מתקיימת תנועה הרמונית פשוטה? מניתוח מתמטי נובע, כי פתרון משוואת התנודות יהיה הפונקציה טריגונומטרית סינוס, או קוסינוס ,אך ורק אם הכוח מחזיר פרופורציוני להעתק הגוף.
באיור מס' 5 מתואר גרף תלות העתק גוף, המבצע תנודות הרמוניות, בזמן. המשוואה הנ"ל נכונה רק במקרה, בו גוף מתחיל לנוע מהנקודה הרחוקה ביותר ממצב שיווי המשקל.



איור מס' 5 גרף של הפונקציה קוסינוס

את זמן המחזור של מטוטלת קפיצית מחשבים בעזרת הנוסחה:

T - זמן המחזור (sec)
m - מסת המערכת (kg)
k- קבוע הקפיץ (N/m)

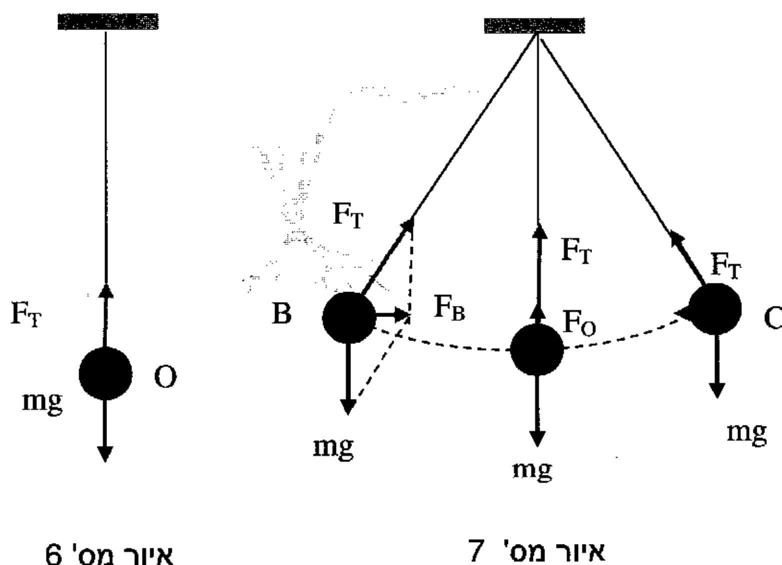
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

זמן המחזור של מטוטלת קפיצית תלוי במסה ובקבוע הקפיץ, ולא מושפע מכוח המשיכה או מהאמפליטודה. העברת מטוטלת קפיצית מפני כדור הארץ לירח, או לתחנת חלל, לא משנה את זמן המחזור ואת תדירות תנודות.

9.5 מטוטלת מתמטית

נדון בכדור קטן התלוי על חוט ארוך. מערכת זו נקראת מטוטלת מתמטית. המטוטלת המתמטית היא מודל אידיאלי, בו מסה נקודתית תלויה בחוט ארוך וחסר משקל. אורך החוט הוא קבוע. נתבונן בתנועה של מטוטלת מתמטית לאחר שנסיט את הכדור הצידה ונשחרר אותו בנקודה **B**. הכדור מתחיל לנוע כלפי נקודה שיווי- המשקל **O**, חולף על פניה, וממשיך לנוע עד לנקודה **C**, הנמצאת בקצה השני של מסלולו. אחר כך הכדור שוב מתחיל לנוע כלפי נקודת שיווי- המשקל **O** וממנה לנקודת המוצא B. כך הכדור מבצע תנודה שלמה אחת. מרגע זה תנועת הכדור חוזרת על עצמה. זמן תנועה המטוטלת מנקודה **B** לנקודה **C** ושוב לנקודה **B** הוא זמן המחזור **T**. הזמן הדרוש לתנועה מנקודה **B** לנקודה **O** שווה לרבע זמן המחזור. הזמן הדרוש לתנועה מנקודה **B** לנקודה **C** שווה למחצית זמן המחזור.
נתנח עתה את הכוחות הפועלים על הכדור בנקודות שונות של מסלולו וגם את התאוצות והמהירויות של תנועתו.

כאשר הכדור נח ונמצא במצב שיווי-משקל, סכום הכוחות שפועלים עליו שווה לאפס (איור מס' 6). במצב הזה על הכדור פועלים שני כוחות: כוח הכבידה - mg השווה לכוח מתיחות החוט - F_T. כאשר אנו מסיטים את המטוטלת המתמטית ממצב שיווי-משקל ועוזבים אותה בנקודה B, (איור מס' 7) סכום כוחות הכבידה והמתיחות שונה מאפס, וכיוונו כל זמן התנועה לכיוון נקודת שיווי-המשקל, הנקודה- O. הכוח השקול F_B גורם לכדור לנוע בתאוצה, שהיא גם בכיוון נקודת שיווי- המשקל. ברגע, בו הכדור נמצא בנקודה B, תאוצת הכדור גדולה ביותר, ומהירות הכדור שווה לאפס. כאשר הכדור מגיע לנקודת שיווי- המשקל, הכוח השקול F_O שונה מאפס, אבל כיוונו כלפי מעלה, ותאוצת הכדור היא אך ורק תאוצה צנטריפטלית. ברגע הזה הכדור מגיע למהירותו הגדולה ביותר. עקב כך הכדור ממשיך לנוע כלפי הנקודה C, בה מהירותו שוב מתאפסת, כי ברגע בו הכדור עובר את הנקודה O, הכוח השקול משנה את כיוונו, ותאוצת הכדור היא במגמה הפוכה לכיוון מהירותו. בנקודה C ערך הכוח השקול וערך תאוצת הכדור שוב מגיעים למכסימום. החזרה מנקודה C לנקודה B זהה לתנועה שתוארה קודם, רק בכיוון הפוך.



איור מס' 6 איור מס' 7

9.6 חישוב זמן המחזור של מטוטלת מתמטית

במקרים בהם זווית הסטייה של מטוטלת מתמטית ממצב שיווי-המשקל קטנה יחסית, כלומר קטנה מ - 5^0, זמן המחזור לא תלוי באמפליטודה של התנודות. נסמן אורך המטוטלת ב - L ואת תאוצה הכבידה ב – g.

את זמן המחזור של מטוטלת מתמטית מחשבים בעזרת הנוסחה:

T – זמן מחזור (sec)
L – אורך החוט (m)
g - תאוצה הכבידה (m/sec^2)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

זמן המחזור של מטוטלת מתמטית לא תלוי במסת המטוטלת. שעונים עם מטוטלת רגישים מאוד למיקום על פני כדור הארץ. הסיבה לכך היא שהערך מספרי של תאוצה הכובד תלוי בגובה הנקודה על פני כדור הארץ ובמקומה. הדבר מאפשר למדוד בדיוק רב את הערך המספרי של תאוצת הכובד בנקודות שונות על פני כדור הארץ. שעון עם "מטוטלת מתמטית" לא יעבוד בתוך תחנת חלל בה לגופים אין משקל. לעומת זאת חוסר משקל לא משפיע על פעילות שעון עם "מטוטלת קפיצית".

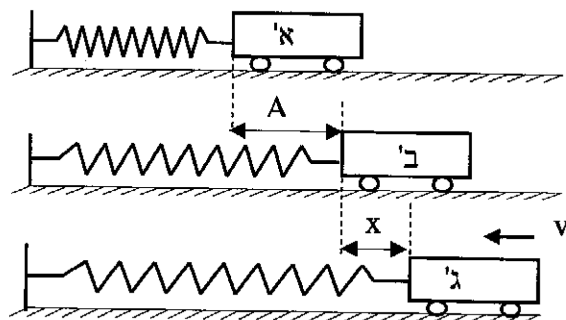
9.7 מעברי אנרגיה בתנודות

האנרגיה הכוללת בתנודות שווה לסכום האנרגיה האלסטית והקינטית. במצב שיווי-משקל (איור מס' 8 ב'), כאשר מהירות הגוף גדולה ביותר, האנרגיה הקינטית שלו מכסימלית, והאנרגיה האלסטית שווה לאפס. האנרגיה הכוללת במצב שיווי משקל היא קינטית בלבד. מהירות הגוף במרחק הגדול ביותר ממצב שיווי משקל שווה לאפס. בנקודות אלה כל אנרגיית הגוף היא אנרגיה אלסטית בלבד (איור מס' 8 א').
ידוע לנו , כי אמפליטודה של גוף, המבצע תנודות חופשיות, תמיד הולכת וקטנה עם הזמן. משמעות הדבר, שאנרגיית גוף, המבצע תנודות, קטנה עד אשר היא מתאפסת. במקרים מסוימים אנו יכולים להתעלם מהקטנת האמפליטודה והמהירות. במקרה אידיאלי, כאשר אין חיכוך, האנרגיה הכוללת נשמרת. על פי חוק שימור האנרגיה, האנרגיה הקינטית במצב שיווי משקל חייבת להיות שווה לאנרגיה האלסטית בנקודות הרחוקות ביותר ממצב שיווי-משקל. פרט לנקודות בקצוות ולנקודת שיווי-המשקל, האנרגיה הכוללת של הגוף שווה לסכום האנרגיה האלסטית והקינטית (איור מס' 8 ג').

$$E = E_p = \frac{kA^2}{2}$$

$$E = E_k = \frac{mv^2}{2}$$

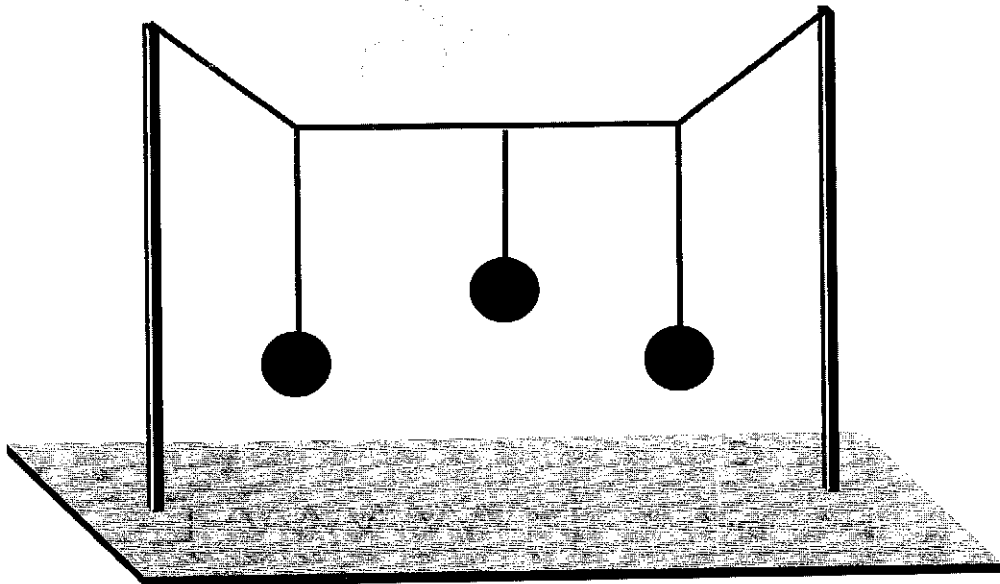
$$E = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$



איור מס' 8

9.8 תהודה

תדירות תנודות מטוטלת קפיצית, או מטוטלת מתמטית, אחרי הסטה ממצב שיווי-המשקל תלויה במאפיינים של המטוטלת עצמה. תנודות מטוטלת קפיצית, או מטוטלת מתמטית נקראות תנודות חופשיות. תנודות חופשיות מתרחשות בהשפעה של כוחות פנימיים של מערכת גופים. תנודות, הנגרמות בהשפעות כוחות חיצוניים (שלא שייכים למערכת של המטוטלת), נקראות תנודות מאולצות. למשל, במקום לתת למטוטלת מתמטית לנוע אופן חופשי, ניתן להביא אותה לתנועה הלוך ושוב באמצעות שרירי היד. האמפליטודה של תנודות מאולצות תלויה בתדירות השינויים של הכוח המאלץ ובכוחות החיכוך בתוך מערכת המטוטלת. כאשר תדירות השינויים של כוח המאלץ קרובה או שווה לתדירות התנודות החופשיות, אנו רואים הגדלה דרסטית של האמפליטודה. תופעת זו נקראת תהודה. תופעת התהודה היא הגדלה דרסטית של אמפליטודת התנודות המאולצות. לקיומה של תהודה דרושים שני תנאים: האחד - איבוד האנרגיה של המטוטלת עקב הפעולה של כוחות החיכוך חייב להיות קטן יחסית, והשני - תדירות השינויים של הכוח המאלץ צריכה להיות קרובה או שווה לתדירות של התנודות החופשיות. באיור מס' 9 מתוארת מערכת להדגמה תופעת התהודה. שלושה כדורים תלויים באמצעות חוטים בין שני עמודים. שניים מהם קשורים לחוטים בעלי אורך זהה. אורך חוט התלייה של המטוטלת השלישית שונה. ניתן לראות כי, התנודות של המטוטלת האחת נמסרות דרך החבל המטוטלת זהה אחרת, כלומר מתרחשת תופעת תהודה. בו זמנית, מטוטלת שתדירות תנודות חופשיות שונה, כמעט נשארת במקום.



איור מס' 9

מצד אחד אנו יכולים לנצל את תופעת תהודה להגברת תנודות חלשות, וזה דבר יעיל . מצד אחר תופעת התהודה יכולה לגרום להרס, וזה דבר מזיק מאוד. אחד הגשרים בארצות הברית נהרס עקב תהודה. תדירות התנודות החופשיות של הגשר הייתה קרובה לתדירות של משבי הרוח.

9.9 בעיות

1. כדור קטן הקשור בחוט ביצע 4 תנודות במשך 10sec.
מהם זמן המחזור והתדירות? (2.5sec, 0.4Hz)

2. זמן המחזור של מטוטלת הוא 0.25sec. מהי תדירותו? (4Hz)

3. גוף נע בתנועה הרמונית שמשרעתה 20cm, וזמן המחזור 6sec.
ברגע התחלתי $t=0$, $x=A$.
א. מהו הביטוי להעתק הגוף כפונקציה של הזמן?
ב. מהו ההעתק הגוף בזמנים 3sec, 4.5sec?
(א. $x = 0.2Cos(\pi t/3)$. ב. 0 , -0.2m)

4. העתק גוף כפונקציה של הזמן נתון בביטוי $x = 0.2Cos(2\pi t)$
א. מהי המשרעת?
ב. מהם זמן המחזור ותדר?
ג. היכן היה הגוף ברגע $t=0$?
(א. 0.2m. ב. 1sec , 1Hz . ג. $x= 0.2m$)

5. כדור קטן תלוי על חוט, שאורכו 60cm. מהי התדירות של תנודות חופשיות?
(0.65Hz)

6. זמן מחזור של מטוטלת מתמטית 2sec. מהו אורך המטוטלת? (1m)

7. גוף, שמסתו 2kg, קשור לקפיץ שקבוע 200N/m. מהו זמן מחזור התנודות של הגוף? (0.63sec)

8. זמן מחזור של מטוטלת קפיצית 1sec, קבוע הקפיץ 400N/m. מהי מסת המטוטלת? (10.13kg)

9. אמפליטודת תנודות גוף קשור לקפיץ 0.05m . קבוע הקפיץ 200N/m. המהירות המרבית של הגוף 0.5m/sec. מהי מסה הגוף? (2kg)

10. משקולת, שמסתה 2kg ותלויה על קפיץ, גורמת להתארכותו ב - 10cm.
א. מהו זמן המחזור של תנודות המשקולת?
ב. מהי המהירות המרבית של המשקולת?
ג. מהי התארכות הקפיץ ברגע בו המהירות היא 0.5m/sec?
(א. 0.63sec. ב. 1m/sec. ג. 0.087m)

11. גוף נע בתנועה הרמונית פשוטה שתדירותה 6Hz.
א. כמה זמן דרוש לו כדי להגיע ממצב שיווי משקל לנקודה $x = 0.5A$?
ב. כמה זמן דרוש לו כדי לעבור מהנקודה $x = 0.5A$ לנקודה $x = A$?
(א. 1/72sec. ב. 1/36sec)

12. מהו זמן המחזור של מטוטלת מתמטית, שאורכה 1m ונמצאת בתוך קרון הנע בתאוצה $6m/sec^2$? (1.84sec)

13. בזמן שמטוטלת אחת השלימה 10 תנודות, מטוטלת אחרת השלימה 6 תנודות. אורך המטוטלת האחת קצר מאורך המטוטלת השנייה ב - 10cm. מהו אורך כל אחת מהן? (0.25m, 0.15m)

14. העתק גוף כפונקציה של הזמן נתון בביטוי $x = 0.5Cos(4\pi t)$.
א. מהי המהירות המרבית של הגוף?
ב. מהי התאוצה המרבית של הגוף?
(א. 6.28m/sec. ב. $78.96m/sec^2$)

15. העתק גוף כפונקציה של הזמן נתון בביטוי $x = 2Cos(\pi t)$
א. מהי מהירות הגוף ברגע t=0.2sec?
ב. מהי תאוצת הגוף ברגע t=0.3sec?
(א. -3.69m/sec . ב. $-11.6m/sec^2$)

16. אמפליטודה תנודות גוף 0.4m. זמן המחזור 4sec. מהי מהירות הגוף ברגע בו ההעתק 0.2m? (0.54m/sec)

17. אמפליטודת תנודות גוף 0.5m. ברגע מסוים מהירות הגוף 2m/sec, וההעתק 0.2m. מהו זמן המחזור? (1.44sec)

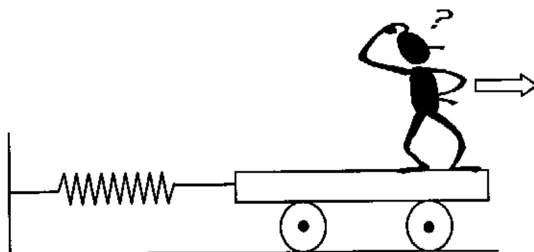
18. העתק גוף כפונקציה של הזמן נתון בביטוי $x = 0.2Cos(2\pi t)$. מתי העתק הגוף שווה ל – 0.15m? (0.12sec)

19. ילד, שמסתו 30kg, קופץ מעגלה במהירות 4m/sec בכיוון האופקי. מסת העגלה 100kg . העגלה קשורה לקפיץ, שקבוע הקפיץ שלו 10kN/m.

א. מהי מהירות העגלה לאחר הקפיצה?

ב. מהו זמן המחזור של תנועת העגלה?

ג. מהו הביטוי להעתק העגלה כפונקציה של הזמן?



(א. $u_2 = 1.2m/sec$, ב. $T = 0.31sec$, ג. $x = 0.014 Sin 10t$)